

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
SÄHKÖTEKNIKAN OSASTO

Jyrki Teppo Juho Penttinen

NMT-PUHELINKANNAN LAATUMUUTOSTEN HUOMIOON-
OTTAMINEN RADIOVERKKOSUUNNITTELUSSA

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 10.5.1994

Työn valvoja

Seppo J. Halme

Työn ohjaaja

Jouko Rautio

TKK SÄHKÖTEKNIKAN
OSASTON KIRJASTO
OTAKAARI 5 A
02150 ESPOO

19367

Tekijä:	Jyrki Teppo Juho Penttinen	
Työn nimi:	NMT-puhelinkannan laatumuutosten huomioonottaminen radio-verkkosuunnittelussa	
Päivämäärä:	17.5.1994	Sivumäärä: 87
Osasto:	Sähkötekniikan osasto	
Professuuri:	Tietoliikennetekniikka	
Työn valvoja:	Professori Seppo J. Halme	
Työn ohjaaja:	Diplomi-insinööri Jouko Rautio	
<p>Työssä on mitattu eräiden yleisimpien markkinoilla olevien NMT 900 -käsipuhelinten radioteknisiä ominaisuuksia. Samoin on tutkittu joidenkin 2-5 vuotta vanhojen käsipuhelinten antenneissa ja liittimissä tapahtuneita muutoksia. Lisäksi on kerätty eri lähteistä samaan aiheeseen liittyvää aineistoa tyyppi- ja ikäjakauman sekä maantieteellisen sijainnin selvittämiseksi.</p> <p>Tuloksena on esitetty käsipuhelinten laatumuutoksista johtuvat uudet oletusarvot tärkeimmille verkko-ominaisuuksille, jotka vaikuttavat käsipuhelinten toimintaan NMT 900 -verkossa. Lisäksi on esitetty ennuste, miten laatumuutokset vaikuttavat nykyiseen laitekantaan. Muutokset on painotettu maantieteellisesti ja ajallisesti.</p> <p>NMT 900 -käsipuhelinten tutkimustulosten pohjalta on tarkasteltu lyhyesti NMT 450 -käsipuhelinkannan kehitystä ja todettu verkko-ominaisuuksien muutostarve, joka on selvitettävä tarkemmin jatkotutkimuksilla.</p>		
hakusanat:	käsipuhelin radioverkkosuunnittelu laatumuutokset	

Author:	Jyrki Teppo Juho Penttinen
Name of the thesis:	Quality changes in NMT mobile phones and their effects on network planning
Date:	17.5.1994
	Number of pages: 87
Faculty:	Faculty of Electrical Engineering
Professorship:	Telecommunications
Supervisor:	Prof. Seppo J. Halme
Instructor:	M.Sc. Jouko Rautio
<p>This Master's thesis was based on an initial study of the radio-technical properties of some new examples of several NMT900 handportable mobile phones commonly available on the Finnish market. The study was widened to include the examination of 2-5 year old handportables of one of the manufacturers. With these old ones, particular emphasis was placed on the effects of ageing on antennas and connectors and how this natural phenomenon should be taken into account in mobile network planning. In addition research material was compiled from various sources in order to establish the geographical distribution of different types of mobile phones as well as the ageing factor affecting quality and network planning.</p> <p>Comparing the studied results mainly to the specifications, and due to the quality deterioration factors revealed, this thesis proposes changes in the form of new default values of some of the most vital network properties on which the successful operation of NMT900 handportable phones depend. The result has also been accentuated in the geographical and long-term perspective. The thesis predicts how ageing mobile phones and manufacturing progress will affect the present equipment base in Finland within the next few years.</p> <p>As a by-product, the NMT900 study also points to the applicability of its findings and predictions to handportables in the NMT450 mobile telephone system, where handsets were introduced on a large scale as late as in 1992. As either Finnish NMT network, or both, are planned to function well into the future, ageing and other types of quality deterioration will not be a problem in a significant manner.</p>	
keywords:	hand portable phone network planning quality changes

ALKULAUSE

Tämä diplomityö on tehty Telen Matkapuhelinpalveluissa. Aiheena on NMT 900-käsimatkapuhelinkannassa tapahtuneet laatumuutokset ja niiden vaikutus radioverkko-suunnitteluun.

Työn valvojana toimi professori Seppo J. Halme, jota kiitän saamistani ohjeista ja asiantuntevasta suhtautumisesta työhön. Ohjaajana toimi Jouko Rautio, jota kiitän työhön liittyvästä avusta ja opastuksesta. Samoin kiitän Telen henkilökuntaa työn tekemisessä saamastani avusta.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani, veljeäni ja ystäviäni kaikesta tuesta opiskeluni aikana.

Helsingissä 17.5.1994



Jyrki Penttinen

Mechelininkatu 2 A 12
00100 Helsinki

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	I
Abstract	II
Alkulause	III
Sisällysluettelo	IV
Lyhenneluettelo	VI
Symboliluettelo	VIII
1. Johdanto	1
2. NMT 900 -järjestelmästä	2
2.1. Järjestelmäkuvaus	2
2.1.1. Yleistä	2
2.1.2. Järjestelmän rakenne	3
2.1.3. Signaointi	4
2.2. Puhelunmuodostus	7
2.2.1. MS A-tilaajana	7
2.2.2. MS B-tilaajana	8
2.3. Kanavanvaihto	9
2.4. Verkkosuunnittelusta	10
2.4.1. Radioaaltojen eteneminen vapaassa tilassa	15
2.4.2. Sisätilan peitto	17
2.4.3. Kentänvoimakkuusmittaukset	18
2.5. Parametrit	19
2.6. Tyyppihyväksyntä	22
2.6.1. Testiolosuhteista	23
3. Käsipuhelinten ominaisuuksista	25
3.1. Radiotekniset ominaisuudet	25
3.2. Käsipuhelinten antennit	26
3.3. Käsipuhelinten liittimet	29
4. Laitekannan jakaumat	30
4.1. Tyyppikohtainen jakauma	30
4.2. Maantieteellinen jakauma	31
4.3. Ikäjakauma	35
4.4. Laitekannan siirtyminen Suomessa	37
5. Mittaukset	39
5.1. Laboratoriomittaukset	39

5.2.	Maastomittaukset	40
5.3.	Kaupunkimittaukset.....	42
5.4.	Vanhenemismittaukset.....	42
6.	Tulos	44
6.1.	Mittaukset	44
6.1.1.	Laboratoriomittaukset	44
6.1.2.	Mittaukset maastossa.....	50
6.1.3.	Mittaukset kaupungissa	52
6.1.4.	Käytettyjen puhelinten testi.....	54
6.2.	Puhelinten luokittelu	56
6.2.1.	Luokitusperusteet.....	56
6.2.2.	Luokitus.....	56
6.3.	Vaikutus NMT 900 -parametreihin.....	59
6.3.1.	Yleiskatsaus parametreihin.....	60
6.3.2.	Puhelun muodostus	66
6.3.2.1.	HMS A-tilaajana.....	67
6.3.2.2.	HMS B-tilaajana	69
6.3.3.	Kanavanvaihto	70
6.3.4.	Puhelun katkeaminen	71
6.3.5.	Vaikutus painotettuna maantieteellisesti	73
6.3.6.	Vaikutus painotettuna ajallisesti	74
6.4.	Vaikutus muihin verkko-ominaisuuksiin	75
6.4.1.	Verkon suunnittelu.....	76
6.4.2.	Päällekkäispeitto	78
6.5.	Ennuste nykyisen laitekannan pohjalta	79
6.6.	NMT 450 -verkon kehitys	79
6.7.	Virhetarkastelu	81
7.	Johtopäätökset	83
	Lähdeluettelo.....	85
Liite 1	NMT 900 -järjestelmän parametrit	
Liite 2	puhelinten luokitteluperusteet	
Liite 3	käsi puhelinten suuntakuviomittausten tulokset	
Liite 4	käytettyjen käsi puhelinten suuntakuviomittausten tulokset	
Liite 5	puhelinten radioteknisten ominaisuuksien mittaustulokset	

LYHENNELUETTELO

A-tilaaja	kutsuva tilaaja
B-tilaaja	kutsuttu tilaaja
AC	yhteydenottokanava (<i>Access Channel</i>)
Balun	antennin symmetriamuuntaja (<i>balance to unbalance transformer</i>)
BS	tukiasema (<i>Base Station</i>)
BSA	tukiasema-alue, solu (<i>Base Station Area</i>)
CB	kombikanava eli kanava, johon on yhdistetty kutsukanava ja yksi liikennekanava (<i>Combi Channel</i>)
CC	kutsukanava (<i>Calling Channel</i>)
CCI	samantaajuisen kanavan häiriö (<i>Co-Channel Interface</i>)
CO	katso CB
C/I	katso CCI
dBd	antennin vahvistus desibeleinä verrattuna puolialtodipoliin
dBi	antennin vahvistus desibeleinä verrattuna isotrooppiseen säteilijään
dBm	desibeliä verrattuna yhteen milliwattiin
dB μ V	desibeliä verrattuna yhteen mikrovolttiin
DECT	digitaalinen johdottomaan viestintään tarkoitettu tietoliikennejärjestelmä, joka toimii 1800 MHz:n taajuusalueella (<i>Digital European Cordless Telecommunications</i>)
GPS	maailmanlaajuinen satelliitteihin perustuva paikannusjärjestelmä (<i>Global Positioning System</i>)
GSM	aikajakoinen digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä (<i>Global System for Mobile communications</i>)
FFSK	nopea taajuudenvaihtoavainnus; jatkuvavaiheinen FSK (<i>Fast Frequency Shift Keying</i>)
FTC	nopea liikennekaista (<i>Fast Traffic Channel</i>)
HMS	käsipuhelin (<i>Hand Portable Mobile Station</i>)
LO	paikallisoskillaattori (<i>Local Oscillator</i>)
LOS	suora näköyhteys (<i>Line of Sight</i>)
MTX	matkapuhelinkeskus (<i>Mobile Telephone Exchange</i>)
MTXH	matkapuhelimen kotikeskus (<i>Home Mobile Telephone Exchange</i>)
MS	matkapuhelin (<i>Mobile Station</i>)
NMT	yhteispohjoismainen automaattinen matkapuhelinjärjestelmä (<i>Nordic Mobile Telephone</i>)
NMT 450	taajuusalueella 450 MHz toimiva NMT-järjestelmä

NMT 900	taajuusalueella 900 MHz toimiva NMT-järjestelmä
OS	näköeste (<i>Out of Sight</i>)
RF	radiotaajuus (<i>Radio Frequency</i>)
RX	vastaanotin (<i>Receiver</i>)
SAS	seisovan aallon suhde (= SWR, <i>Standing Wave Ratio</i>)
SCIP	kanavanvaihto (<i>Switching Call In Progress</i>)
SINAD (P)	signaalikohinasärösuhde psfometrisesti painotettuna (<i>Signal to Noise And Distortion</i>)
smv	sähkömotorinen voima
S/N-suhde	signaali-kohinasuhde (<i>Signal to Noise Ratio</i>)
TA	kutsualue (<i>Traffic Area</i>)
TC	liikennekanava (<i>Traffic Channel</i>)
TX	lähetin (<i>Transmitter</i>)
THK	Telehallintokeskus
UHF	taajuusalue 300 - 3000 MHz (<i>Ultra High Frequency</i>)
VF	äänitaajuus (<i>Voice Frequency</i>)

SYMBOLILUETTELO

A	radioverkon peittoalueen pinta-ala
A_{BS}	yhden tukiaseman peittoalueen pinta-ala
c	valon nopeus, n. 300 000 km/s
C	radioverkon kapasiteetti
C3	järjestelmän koodi, "MS:ltä ei saada identiteettiä uudella kanavalla"
DM	parametri; signaalinvoimakkuuden oletusarvo kotitukiasemalle
d_1	etäisyys lähettimestä
d_2	etäisyys vastaanottimesta
E	vapaan tilan kentänvoimakkuuden tehollisarvo
f	taajuus
IREP	parametri; kanavanvaihdon toistoväli
ISS	parametri; kentänvoimakkuusarvo, jolla määrätään, milloin puhelun siirto toteutetaan
ISSH	parametri; sama kuin ISS, mutta tarkoitettu käsipuhelimelle
K	ryhmä, johon kanavat jaettu
L_H	parametri; puhelun siirron aloitus
L_L	parametri; kentänvoimakkuusarvo, jolla tukiasema katkaisee puhelun
LLS	parametri; signaalinvoimakkuuden kynnyksäraja puhelun siirrolle puhelun alussa
M	radioverkossa käytettävissä olevat solut
MLS	parametri; signaalinvoimakkuuden taso tukiaseman sisäiselle kanavanvaihdolle
N	kanavien lukumäärä radioverkossa
N_{BS}	solussa käytettävissä olevat kanavat
P_t	lähetytsteho
R	etäisyys
RE	parametri; vapaiden ja varattujen liikennekanavien suhde
r_f	Fresnelin vyöhykkeen säde
ULS	parametri; matkapuhelimen lähetytstehon alennus
\bar{x}	aritmeettinen keskiarvo
Z_0	tyhjiön aaltoimpedanssi ($120\pi \Omega$)
08	järjestelmän koodi, "onnistunut kanavanvaihto"
1E	järjestelmän koodi, "tason 2 hälytys tukiasemalla"
α	heijastuvan säteen tulo- ja lähtökulma
ϵ_n	väliaineen n permittiivisyys

μ_n	väliaineen n permeabiliteetti
μ_0	tyhjiön permeabiliteetti
ρ_h	vaakapolarisoituneen heijastuksen heijastuskerroin
ρ_v	pystypolarisoituneen heijastuksen heijastuskerroin
Φ	valvontasignaali (<i>Supervisory Signal</i>)
λ	aallonpituus
σ	keskihajonta
σ^2	variassi

1. JOHDANTO

NMT-käsi puhelinten radiotekniset ominaisuudet ovat viime vuosien aikana muuttuneet. Tässä työssä on selvitetty, mitä nämä muutokset ovat.

Laitekanta on muuttunut ainakin siten, että käsi puhelimet ovat pienentyneet ja puhelinten antennit ovat lyhentyneet sekä muuttuneet saranoiduiksi tai sisäänkyönnettäväiksi. Puhelinten muovikuorien vuoksi antenneilta puuttuu kunnollinen maataso.

NMT-puhelinkannan vanhoissa puhelimissa saattaa tapahtua vanhenemisilmiöitä, jotka vaikuttavat niiden säteily- ja käyttöominaisuuksiin. Tämä ilmenee esimerkiksi antenni-saranoiden tai -liittimien kulumisena ja hapettumisena, akkujen varauksenluovutamiskyvyn heikkenemisenä sekä lähetin- ja vastaanotinpiirien viritysten ryömintänä.

Työssä on mitattu viiden uuden NMT 900 -käsi puhelinmallin satunnaisten kappaleiden tuotantolaatua sekä laboratoriossa että käytännön kokeilla. Samoin on tutkittu joitakin 2-5 vuotta vanhoja puhelimia siten, että tutkimuksen painopiste on ollut lähinnä antennissa ja liittimissä tapahtuneissa muutoksissa. Lisäksi työssä on kerätty eri lähteistä samaan aiheeseen liittyvää aineistoa tyyppi- ja ikäjakauman sekä maantieteellisen sijainnin selvittämiseksi.

Tuloksena on esitetty käsi puhelinten laatumuutoksista johtuvat uudet oletusarvot tärkeimmille verkko-ominaisuuksille, jotka vaikuttavat käsi puhelinten toimintaan NMT 900 -verkossa. Työssä on esitetty ennuste, miten laatumuutokset vaikuttavat nykyiseen laitekantaan. Muutokset on painotettu maantieteellisesti ja ajallisesti.

NMT 900 -käsi puhelinten tutkimustulosten pohjalta on tarkasteltu lyhyesti NMT 450 -käsi puhelinkannan kehitystä ja todettu verkko-ominaisuuksien muutostarve, joka on selvitettävä tarkemmin jatkotutkimuksilla.

2. NMT 900 -JÄRJESTELMÄSTÄ

2.1. JÄRJESTELMÄKUVAUS

2.1.1. YLEISTÄ

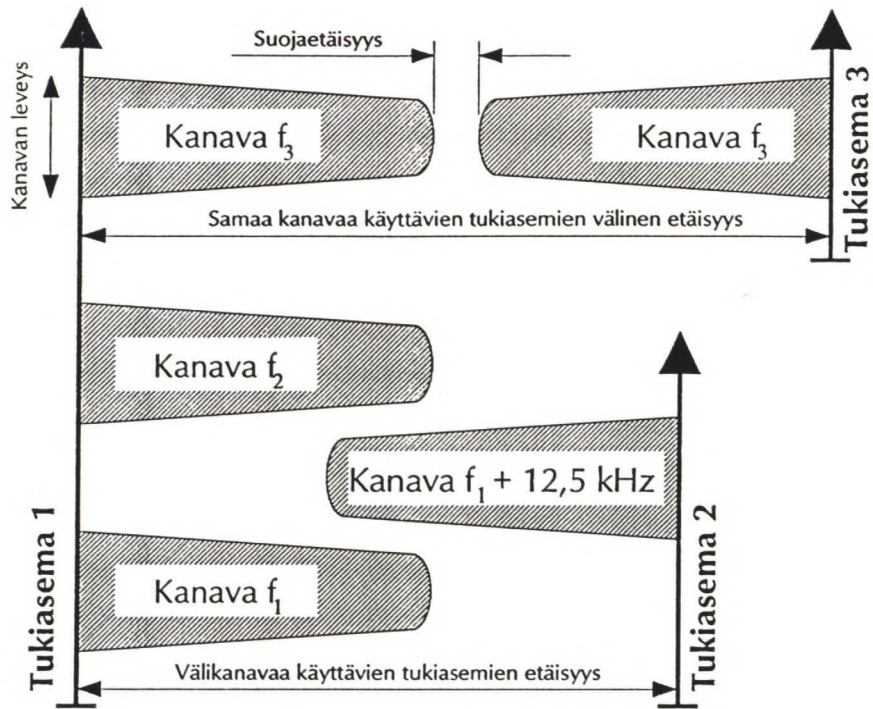
NMT 900 on Norjan, Ruotsin, Suomen ja Tanskan telehallintojen spesifioima 900 MHz:n taajuusalueella toimiva matkapuhelinjärjestelmä. Järjestelmä on kehitetty vanhemmasta 450 MHz:n taajuusalueella toimivasta NMT 450 -järjestelmästä. [3]

NMT 450 -verkko avattiin Suomessa vuonna 1981 ja NMT 900 -verkko keväällä 1987. Vuoden 1994 alussa oli tilaajia NMT 450 -verkossa noin 172 000 ja NMT 900 -verkossa noin 267 000. [30]

NMT 900 -järjestelmän ja yleisen puhelinverkon välinen liitântä tapahtuu matkapuhelinkeskuksessa (MTX, *Mobile Telephone Exchange*), jossa otetaan huomioon eri maiden puhelinverkkojen rakenne-erot. Näin ollen matkapuhelimet ovat täysin yhteensopivia huolimatta siitä, missä järjestelmän toimintamaassa puhelimet ovat.

NMT 900 -järjestelmä käyttää taajuusaluetta 890-915 MHz matkapuhelimesta tukiasemalle tapahtuvassa lähetyksessä sekä taajuusaluetta 935-960 MHz vastakkaisessa suunnassa. Peruskanavien väli on 25 kHz, joten kanavien määrä koko taajuusalueella on 1000. Lisäksi järjestelmässä käytetään 999 välikanavaa (kuva 2-1). Duplex-väli on 45 MHz. Suomessa THK (Telehallintokeskus) on antanut käyttöön 400 peruskanavaa ja 399 välikanavaa.

NMT 900 -verkko on suunniteltu laajamittaista käsipuhelinten käyttöä ajatellen. Prosentuaalisesti tässä verkossa onkin huomattava määrä käsipuhelimia verrattuna autopuhelimiin. Vuonna 1992 ilmestyivät myös ensimmäiset NMT 450 -käsipuhelimet markkinoille. [30]



KUVA 2-1. Välikanavatekniikka, jolla mahdollistetaan taajuuksien häiriötön toisto NMT 900 -solukkoverkossa.

Solukkoverkko muistuttaa automaattitoimintojensa johdosta paljolti kiinteää puhelinverkkoa. Puhelusalaisuus ei välttämättä ole NMT 450- ja NMT 900 -verkoissa yhtä hyvä kuin kiinteässä verkossa. Puhelun aikana, etenkin liikkeellä oltaessa, NMT-puhelin kuitenkin vaihtaa kanavaa lyhyin väliajoin, jolloin tietyn puhelun systemaattinen seuranta on hyvin vaikeaa.

2.1.2. JÄRJESTELMÄN RAKENNE

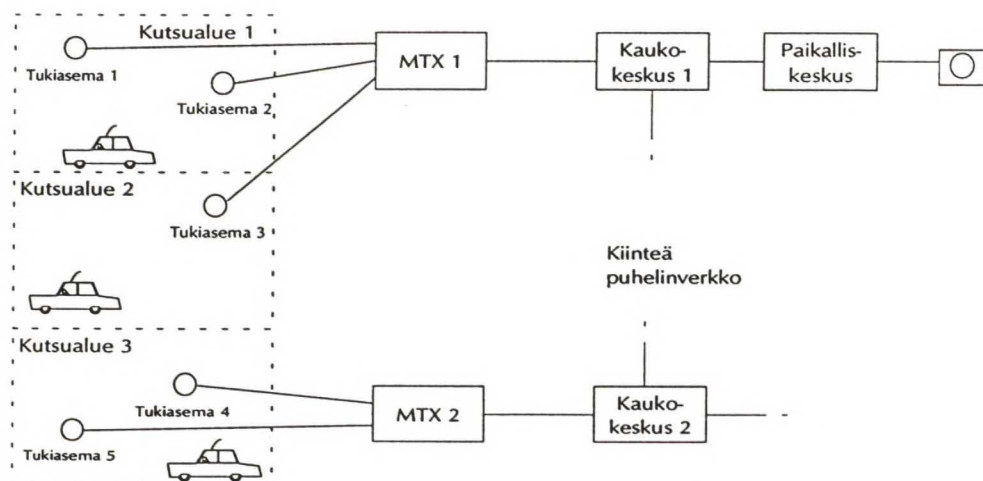
NMT 900 -järjestelmä koostuu matkapuhelinkeskuksista (MTX, *Mobile Telephone Exchange*), tukiasemista (BS, *Base Station*) sekä matkapuhelimista (MS, *Mobile Station* sekä HMS, *Hand portable Mobile Station*). [3] Verkossa on useita keskusalueita, jotka jakautuvat 1-16 kutsualueeseen (TA, *Traffic Area*). Kutsualueilla on soluja eli alueita, joilla yksi tukiasema välittää radioliikennettä liikkuville matkapuhelimille.

Kanavat jaetaan kutsu- (CC, *Calling Channel*), yhteydenotto- (AC, *Access channel*) ja liikennekanaviin (TC, *Traffic Channel*). Vähäkanavaisilla tukiasemilla voidaan kutsukanava ja yksi liikennekanava yhdistää (CB, *Combi Channel*).

NMT-järjestelmä on suunniteltu toimimaan yhteydessä kiinteään puhelinverkkoon. Näin ollen järjestelmän keskus on oikeastaan kauttakulkukeskuksen ja paikalliskeskuksen yhdistelmä. Normaaliin puhelinkeskukseen verrattuna MTX:n pitää tavoittaa tilaaja minkä tahansa pohjoismaan alueelta. Lisäksi puhelinyhteyden pitää olla katkeamaton, kun tilaaja siirtyy kuuluvuusalueelta toiselle.

MTX on rakenteeltaan digitaalinen keskus, jonka kytkinkenttä on pienehkö ja jonka ohjelmallisten toimintojen määrä on suurempi kuin vastaavan kiinteän verkon keskuksen toimintojen määrä. Yksi MTX voi ohjata yhden tai useamman kutsualueen liikennettä.

Kuvassa 2-2 on esitetty NMT-järjestelmän periaatteellinen rakenne.



KUVA 2-2. NMT 900 -matkapuhelinjärjestelmä.

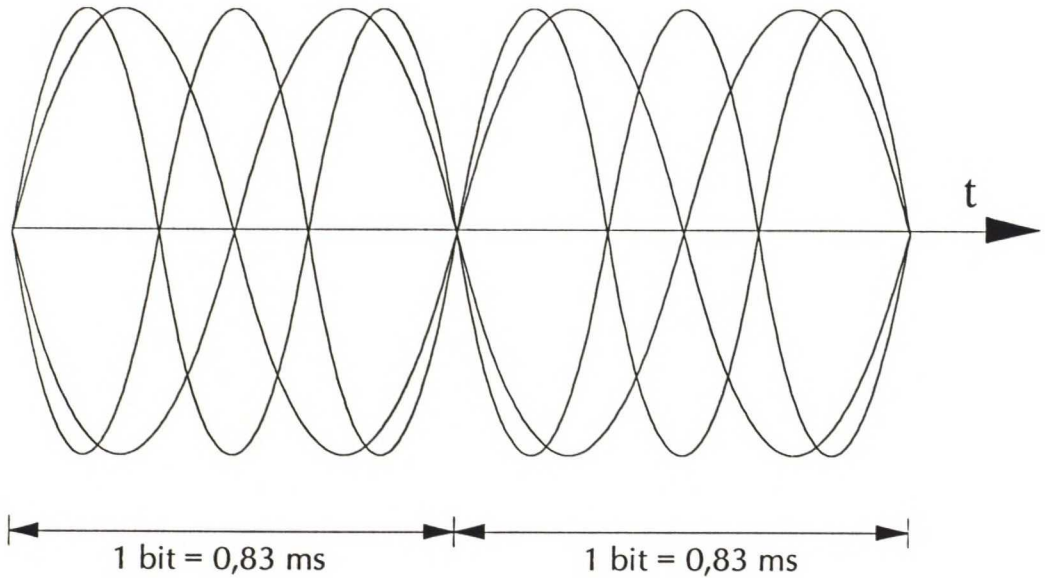
2.1.3. SIGNALOINTI

MTX:n ja tukiaseman välillä tapahtuu kolmenlaista signalointia:

- kutsu-, yhteydenotto- ja puhelukanavan kauko-ohjaus
- kentänvoimakkuusmittausten, käytön ja huollon kauko-ohjaus
- tukiaseman hälytykset

MTX, BS ja MS käyttävät keskenään binääristä signalointia. Modulaatiomenetelmänä on puhetaajuinen 1200 baudin FFSK (Fast Frequency Shift Keying). Modulointinopeus

on spesifikaation mukaan $1200 \pm 0,1$ baudia. FFSK-modulaatiomenetelmässä yksi jakso 1200 Hz:n signaalia vastaa loogista ykköstä ja puolitoista jaksoa 1800 Hz:n signaalia vastaa loogista nollaa (kuva 2-3). [3]



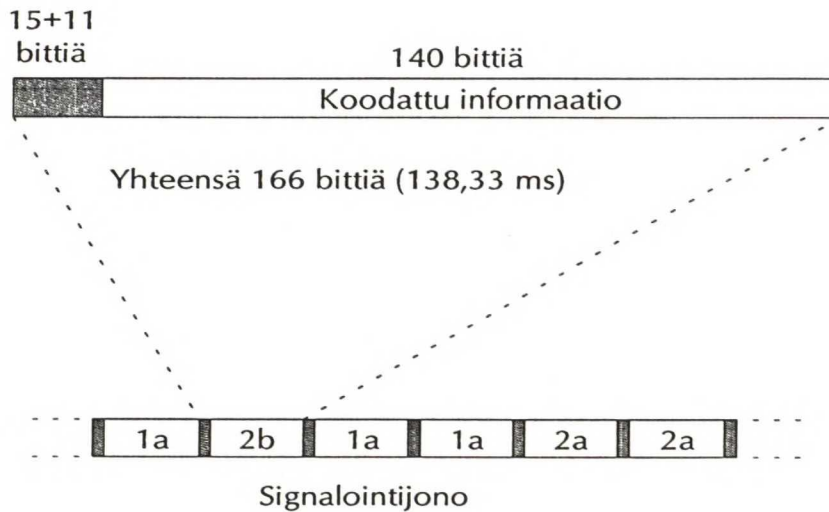
KUVA 2-3. FFSK-signaalin periaatteellinen kuva.

Kaikki signaalit lähetetään kehyksinä, jotka koostuvat 16 heksadesimaalimerkistä sekä synkronointi- ja tarkastusbiteistä. Virheenkorjauskoodina on Hagelbargerin konvoluutiokoodi, joka suojaa kehykset 6 bitin virheryöpyltä, kun virheiden väli on 19 bittiä. Sanoma esitetään 16 heksadesimaalimerkillä, joista kolme ensimmäistä ilmoittavat kanavanumeron, neljäs kehystunnuksen sekä loput, kehyksestä riippuen, kutsualueen numeron, matkapuhelimen numeron tai tukiaseman tunnuksen sekä informaatiota kutsu- ja puhelukanavakaistoista.

Signalointi MTX:n ja tukiaseman sekä MTX:n ja puhelimen välillä on äänitaajuista. Signaloinnin aikana matkapuhelin mykistää puhutien, mikä havaitaan lyhyenä katkoksenä puhelun aikana. MTX:n ja tukiaseman välillä voidaan signalointi toteuttaa erillisellä datakanavalla.

Kuvassa 2-4 on esitetty tyypillinen signalointikehyks, joka muodostuu kolmesta osasta: *bittisykronointiosasta* (15 bittiä), *kehysynkronointiosasta* (11 bittiä) ja *koodatusta sanomasta* (140 bittiä). Koodauksessa lisätään 76 tarkastusbittiä koodaamattomaan 64 bitin viestiin. Koko kehyksen pituus on näin ollen 166 bittiä, ja sen kesto on 138,33 ms.

Signaloinnin luotettavuutta lisätään toistamalla kehystä, koska pitkä kehys on altis häiriöille (häipymät, katvealuekohdat). [28]



KUVA 2-4. Esimerkki NMT 900 -järjestelmän signalointikehyksestä.

Kutsukanava lähettää jatkuvasti signalointia, joka sisältää mm. liikennealuetietoa ja verkon maatumuksen. NMT-puhelin kuuntelee kutsukanavaa ollessaan valmiustilassa (Serv). Kun sille on tulossa puhelu, MTX lähettää kutsun kaikkien saman liikennealueen solujen kutsukanavien kautta. Kun MS vastaa, MTX määrää sille vapaan liikennekanavan.

Puhelun kestäessä lähetetään tukiasemalta MTX:n määräyksestä jatkuvaa valvonta- eli Φ -signaalia, joka kiertää radiopuhelimen kautta takaisin tukiasemalle. Signaalin taajuus valitaan neljästä mahdollisesta (3955, 3985, 4015 tai 4045 Hz) siten, että se eroaa lähimpien samakanavaisten tukiasemien käyttämistä taajuuksista. Vastaanotettu signaali ilmaistaan ja mitataan tukiasemalla, joka päättää, edellyttääkö yhteyden laatu puhelun siirtokytkentää toiselle tukiasemalle tai puhelun katkaisemista. Tukiasema lähettää tiedon mittaustuloksesta MTX:lle. [3]

Mikäli Φ -signaalilla mitattu S/N-suhteen määrätty arvo alitetaan yli 7 sekunnin ajan viimeisten 10 sekunnin aikana, käynnistyy tukiaseman vaihtoprosessi. Myös kentänvoimakkuutta mitataan. Mikäli kentänvoimakkuusmittauksen 5 sekunnin keskiarvo alittaa asetusarvon, käynnistyy tukiaseman vaihtoprosessi myös tästä syystä.

Naapuritukiasemat alkavat mitata MTX:n käskystä matkapuhelimen lähettämän signaalin voimakkuutta, kun tukiaseman vaihtoprosessi käynnistyy. Mittaus tapahtuu tukiasemien kentänvoimakkuusmittavastanottimilla. MTX päättää tulosten perusteella, minkä tukiaseman kautta liikenne mahdollisesti siirretään välitettäväksi. Näin ollen matkapuhelimen säteilyominaisuudet ovat merkittäviä tukiaseman vaihtoprosessissa.

2.2. PUHELUNMUODOSTUS

2.2.1. MS A-TILAAJANA

Puhelunmuodostuksen alussa MS hakee suoraan vapaan puhekanavan ja lukkiutuu sille. Signalointi ja puhelu tapahtuvat tällä kanavalla.

Matkapuhelin hakee puhekanavaa kutsukanavalla ilmoitetulta rajoitetulta kaistalta. Kanavanhakukierroksia on 15 siten, että kanavan hyvyysvaatimustaso laskee loppua kohden. Taulukoissa 2-1 ja 2-2 on esitetty kierrosten vaatimukset, ja kuvasta 2-5 ilmenevät kierrosten lukumäärät eri taajuuskaistoilla.

TAULUKKO 2-1. Kanavien hyväksyminen, kun edellisen kutsukanavan tehobitit ovat 00 tai 01.



Hakukierros	taso/dBμV (MS/HMS)	tehobitit BS:llä	etsittävä kanava
1	> 24 / 16	00 01 11	AC FTC CC
2..4	> 24 / 16	00 01 11	AC FTC CC CB
5..10	> 14 / 6	00 01 10 11	AC FTC CC CB
11..15	> 0 / -4	00 01 10 11	AC FTC CC CB

TAULUKKO 2-2. Kanavien hyväksyminen, kun edellisen kutsukanavan tehobitit ovat 10 tai 11.

Hakukierros	taso/dBμV (MS/HMS)	tehobitit BS:llä	etsittävä kanava
1	> 24 / 16	00 01 11	AC FTC CC
2	> 24 / 16	00 01 11	AC FTC CC CB
3..5	> 14 / 6	00 01 10 11	AC FTC CC CB
6..15	> 0 / -4	00 01 10 11	AC FTC CC CB



Taulukoissa 2-1 ja 2-2 tehobitti 00 tarkoittaa alinta tehoa, 01 keskitehoa ja 11 ylintä tehoa. Tehobitti 10 ilmaisee sateenvarjosolun. Taulukoista havaitaan, että ensimmäisillä hakukierroksilla pyritään välttämään sateenvarjosolun käyttöönottoa. Samoin kombikanava otetaan hakulistaan mukaan vasta ensimmäisen kierroksen jälkeen.

Kutsukanavan haku

-  Kutsukaista (CC-Band)
-  Peruskaista (Base Band)



Yhteydenotto- tai liikennekanavan haku

-  Yhteydenotto-/liikennekaista (AC/FTC-Band)
-  Peruskaista (Base Band)



KUVA 2-5. Kanavien hakukierrokset NMT 900 -järjestelmässä.

Jos tukiasemalla on käytössä yhteydenottokanavia (AC), lähettää MS yhteydenotto-pyyntön tällä kanavalla. MTX vastaa pyyntöön kanavaosoituksella, jota käytetään puhelun kytkemiseen ja itse puheluun. Yhteydenottokanavan avulla puhelun kytkeytyminen nopeutuu ja puhelinten yhteydenotto-pyyntöjen törmäystodennäköisyys pienentyy.

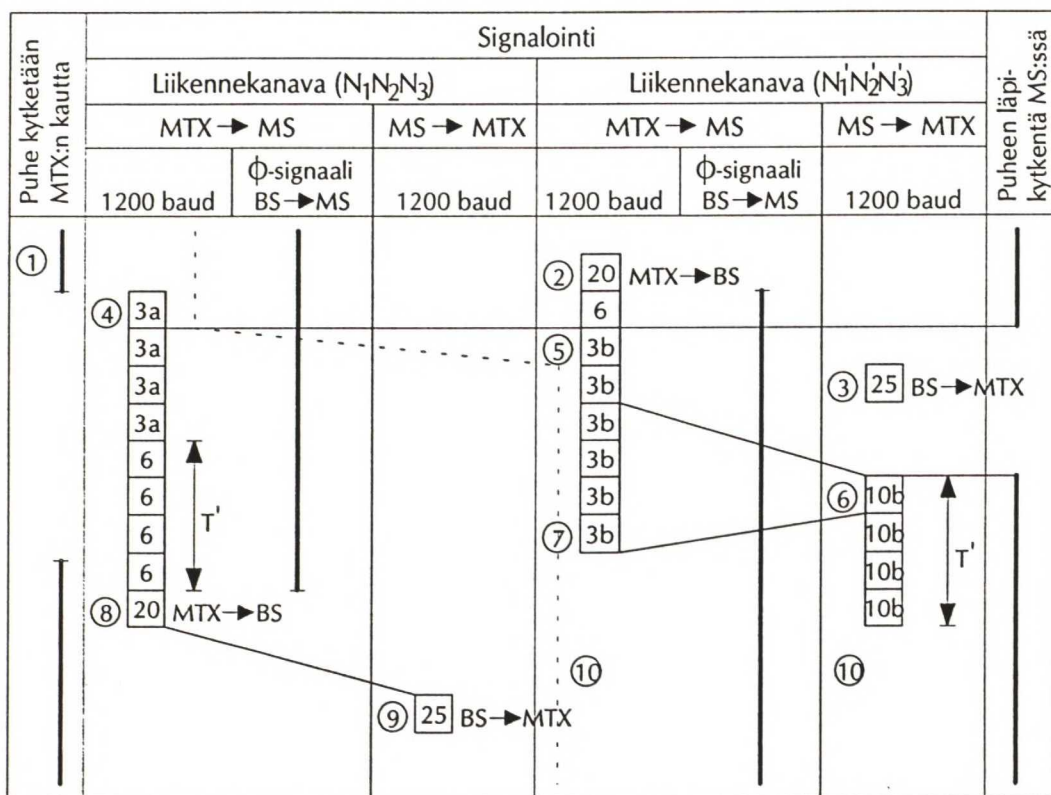
2.2.2. MS B-TILAAJANA

Kutsu lähetetään matkapuhelimeen kaikilla kutsukanavilla sillä liikennealueella, jossa matkapuhelin sijaitsee. Vastaanotettuaan oman tunnuksensa sisältävän kutsusignaalin

matkapuhelin kuittaa kutsun kutsukanavan vastaustaajuudella. Tämän jälkeen MTX ilmoittaa matkapuhelimelle vapaan puhekanavan siltä tukiasemalta, jonka kanavalta kuittaus on tullut. Tällä puhekanavalla tapahtuu myös kaikki muu tarvittava signalointi.

2.3. KANAVANVAIHTO

NMT 900 -järjestelmässä kanavanvaihto voi olla joko tavallinen tai lyhyt. *Tavallisen kanavanvaihdon* tapahtumakaaviota esittää kuva 2-6. [5, s. 50]



Kuva 2-6. Kanavanvaihto (paranneltu versio) kaaviokuvana.

Kaaviokuvassa tapahtuu seuraavaa: ① Puhelu on liikennekanavalla $N_1N_2N_3$. ② MTX päättää siirtää puhelun kanavalle $N'_1N'_2N'_3$ ja varaa kanavan sekä valmistaa tukiaseman Φ -signaalin siirtoon. ③ Tukiasema ilmoittaa aktivointijärjestyksen. ④ MTX kääntää puhelinta vaihtamaan puhelun liikennekanavalle $N'_1N'_2N'_3$ maksimissaan T' sekunnissa (4 kehystä = 553 ms). ⑤ MTX pyytää identiteettiä kanavalla $N'_1N'_2N'_3$ maksimissaan ajan T (8 kehystä = 1107 ms). ⑥ MS lähettää identiteetin neljän kehyksen ajan. ⑦ MTX

kytkee puhetien. ⑧ MTX käskää tukiaseman lopettaa Φ -signaalin lähetyksen kanavalla $N_1N_2N_3$. ⑨ BS kuittaa edellisen käskyn. ⑩ Puhe on siirtynyt kanavalle $N'_1N'_2N'_3$.

Mikäli MS ei saa vastaanotettua identiteettipyyntöä uudella liikennekanavalla, se palaa edelliselle kanavalle ja kytkee siellä puhetien. Jos puolestaan MTX ei saa vastaanotettua identiteettiä uudella liikennekanavalla neljän kehyksen aikana, se kytkee puhelun edelliselle kanavalle ja vapauttaa epäonnistuneen kanavan. Kaaviokuvasta havaitaan, että valvontasignaali tarkkailee edellistä liikennekanavaa siihen saakka, kunnes puhetie on kytketty uudella kanavalla.

Lyhyt kanavanvaihto eroaa tavallisesta siinä, että kohdassa ⑤ MS lähettääkin jo valmiiksi identiteettikehyksen, jos MS vastaanottaa uudella liikennekanavalla A-rajan ylittävän signaalin ($20 \pm 4 \text{ dB}\mu\text{V smv}$). Mikäli MTX ei saa vastaanotettua signaalia neljän kehyksen aikana, MTX pyytää identiteettiä uudella liikennekanavalla. [3, s. 51]

Kanavanvaihdon yhteydessä syntyy eri tapahtumista purkukoodeja. Esimerkiksi onnistunut ja epäonnistunut kanavanvaihto tuottavat oman purkukoodinsa. Purkukoodeja seuraamalla voidaan tutkia verkon toimintaa.

2.4. VERKKOSUUNNITTELUSTA

Peittoaluesuunnittelun tärkeimmät tavoitteet ovat:

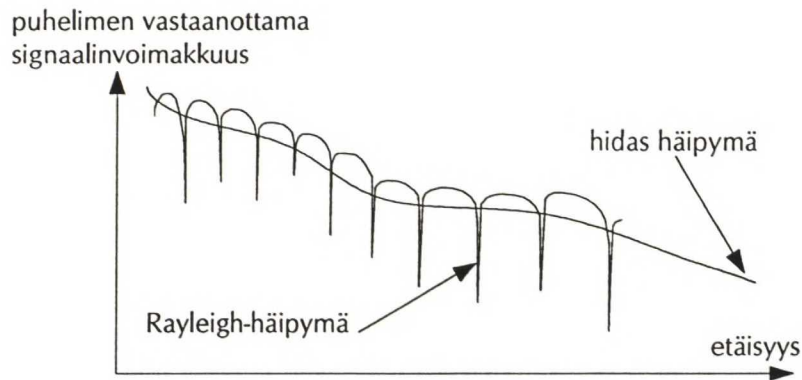
- tarpeellisen peittoalueen saavuttaminen
- tarpeellisen kapasiteetin saavuttaminen rajoitetulla taajuusalueella
- hyvä palvelun laatu
- verkon kustannusten minimointi

Verkkosuunnittelussa käytetään peittoalue- ja taajuussuunnittelua.

Peittoaluesuunnittelun avulla määrätään tukiasemien häiriörajat. Peittoaluesuunnittelussa on tunnettava radioaaltojen etenemiseen liittyvä asiat verkon taajuusalueella. On olemassa tutkimuksiin perustuvia radioaaltojen etenemismalleja, jotka ottavat huomioon maaston vaikutuksen.

Etenemismallit sekä kentänvoimakkuusennusteet ja -mittaukset ovat osa peittoaluesuunnittelua. Peitto on luonteeltaan tilastollista ja on aina sidoksissa annetun kentän-

voimakkuuden, paikan ja ajan todennäköisyyteen. Radiotiellä esiintyy nopeata (Rayleigh-) ja hidasta häipymää, jotka vaikuttavat kentänvoimakkuuteen (kuva 2-7). Edellinen aiheutuu monitie-etenemisestä ja on tyypillistä liikkuvassa maaliikenteessä. Hidas häipyminen aiheutuu maaston vaihteluista ja esteistä. [8, s. 525]



KUVA 2-7. Rayleigh- ja hidas häipymä. [8, s. 59]

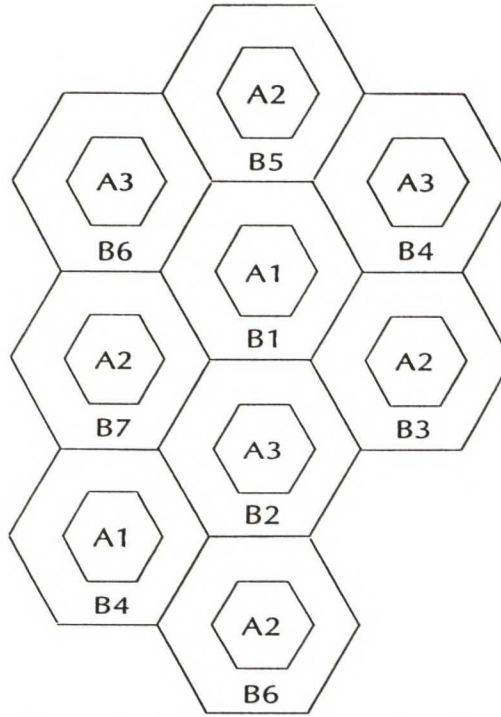
Peiton määritelmän mukaan kentänvoimakkuus, ennustettu tai mitattu, ylittää E dB vähintään L %:ssa paikoista; E ja L on ennalta määrätty. Solukoverkoissa L = 95 % on tyypillinen arvo ja E määritetään L:n ja joidenkin parametrien avulla (mm. maaston tyyppi, liikkuvan aseman herkkyys ja antennivahvistus). [25]

Taajuussuunnittelun avulla jaetaan tukiasemille radiotaajuuksia optimoidusti siten, että radiokanavat eivät häiritse toisiaan. Radiotaajuuksien rajallisen määrän vuoksi täytyy samoja taajuuksia käyttää toistumakuvioden mukaisesti (kuva 2-8). Käytettävissä olevat kanavat jaetaan toistumakuvion avulla kahteen tai useampaan ryhmään, joilla kullakin on oma toistumakuvionsa. Tiettyä taajuutta voidaan toistaa, jos samantaajuisen kanavan häiriö (CCI, Co-Channel Interference) on tarpeeksi pieni. Myös solukoon valinnalla voidaan optimoida verkkoa (suursolut, mikro- ja sisäsolut).

Taajuussuunnittelun tärkein tavoite on lisätä spektrin käytettävyyttä pitäen verkon häiriöt jonkin ennalta määrätyn arvon alapuolella. Tämän johdosta taajuussuunnittelussa tarvitaan häiriörajaennusteita. On olemassa kaksi lähestymistapaa, joilla taajuuden jako-ongelma voidaan ratkaista:

- taajuustoistumakuviot
- heuristiset algoritmit

Järjestelmä on suunniteltu piensolutekniikkaa silmälläpitäen, jotta saadaan mahdollisimman hyvä taajuuksien käyttötehokkuus.



KUVA 2-8. NMT-verkon toistumakuvio.

Solukkoverkko voidaan helposti kuvata kuusikulmioilla tai ympyröillä. Kuusikulmio-approksimaatio eroaa käytännön tilanteesta huomattavasti, mutta on silti paras lähestymistapa verkon mallintamisessa. [25]

Mikäli radioverkossa on määritelty N kanavaa ja kanavat on jaettu K ryhmään, on yksittäisessä solussa

$$N_{BS} = \frac{N}{K} \quad (2.1)$$

kanavaa. Solujen määrä on tällöin

$$M = \frac{A}{A_{BS}}, \quad (2.2)$$

missä A on radioverkon peittoalueen pinta-ala ja A_{BS} on yhden tukiaseman peittoalueen pinta-ala. Näin ollen kapasiteetiksi saadaan

$$C = N_{BS}M = N \frac{M}{K}, \quad (2.3)$$

josta havaitaan, että kapasiteettia voidaan lisätä suurentamalla arvoja K tai A_{BS} . Tässä K määräytyy sallitun samantaajuisen kanavan häiriön perusteella. [25]

Toistumakuvioiden käytössä ongelmallisimpia kohtia ovat tiheään rakennetut alueet, kuten isot kaupungit. Kaupunkialueilla käytetään mielellään pienen peittoalueen mikrosoluja. Tällöin yksi puhelu varaa maantieteellisesti vain pienen alueen. Solun taajuusvalinnassa on otettava huomioon ympäröivien solujen häiriöalueet.

Matkapuhelimen tehotaso voi olla NMT 900 -järjestelmässä 0.1, 1 tai 6 W. Käsipuhelimessa käytetään kahta alinta tehotasoa.

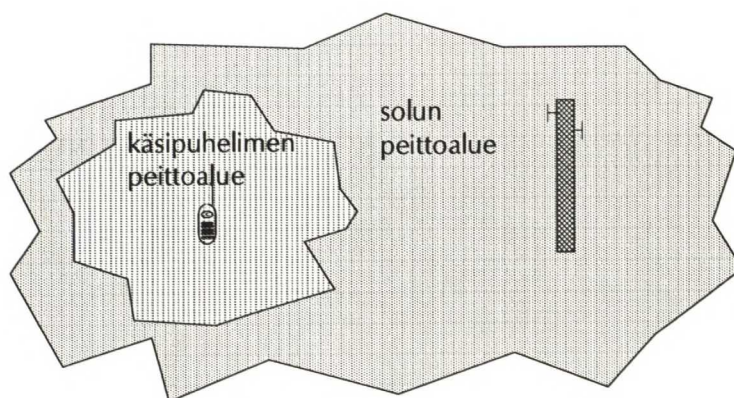
Solun antenni voi olla joko suuntaava tai ympärisäteilevä. Sateenvarjosolua voidaan käyttää NMT 900 -järjestelmässä paikkaamaan soluverkon huonon yhteyden alueita solujen raja-alueilla. Sateenvarjoasema on kanavamäärältään pieni ja peittoalueeltaan suuri tukiasema. Järjestelmä yrittää siirtää puhelun pois sateenvarjoasemalta säännöllisin väliajoin.

Samankanavan suojaussuhde (C/I) voidaan laskea etäisyyden r funktiona käyttäen kuusikulmiomallia:

$$C/I = \frac{R^{-r}}{6D^{-r}}, \quad (2.4)$$

missä R on solun säde ja D taajustoiston etäisyys. [25]

Epätasapaino saattaa ilmetä esimerkiksi suuritehoisen tukiaseman reuna-alueella. Tällöin käsipuhelin kuulee tukiaseman, mutta käsipuhelimen lähetysteho ei riitä vastaamaan tukiasemalle. Puhelimilla, joilla on epätasainen suuntakuvio, ilmiö saattaa korostua. Kuva 2-9 havainnollistaa epätasapainon syntymistä.



KUVA 2-9. Epätasapaino isotehoisen tukiaseman kuuluvuusalueen rajalla.

Epätasapaino NMT 900 -järjestelmässä voidaan laskea seuraavalla kaavalla [20]:

$$E_p(dB) = 10 \log \frac{P_{BS}}{P_{MS}} - G_{jv} , \quad (2.5)$$

missä E_p on siirtosuuntien epätasapaino, P_{BS} on tukiaseman teho, P_{MS} on ajoneuvo-
aseman teho sekä G_{jv} on jakovahvistimen vahvistus, tässä tapauksessa 1 dB. Eri
luokkien epätasapainot on esitetty taulukossa 2-3.

Taulukko 2-3. Epätasapainot E_p eri luokilla NMT 900 -järjestelmässä.

P_{ms} on matkapuhelimen ja P_{hms} käsipuhelimen tehotaso.

$P_{bs}(W)$	$P_{ms}(W)$	$E_n(dB)$	$P_{hms}(W)$	$E_n(dB)$
0.15	0.1	0	0.1	0
0.5	0.1	-6	0.1	-6
2	1	-2	1	-2
8	6	0	1	-8

Vastaanotettu teho saadaan kaavasta

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{A_{ef} E^2}{\eta} = \frac{G \lambda^2 E^2}{4\pi\eta} , \quad (2.6)$$

josta voidaan ratkaista kentänvoimakkuus

$$E = V \sqrt{\frac{\eta 4\pi}{G\lambda R}} . \quad (2.7)$$

Kaavassa P on vastaanotettu teho, V on napajännite (smv - 6 dB), smv on sähkömotorinen voima, R on vastaanottimen impedanssi (50Ω), A on antennin efektiivinen sieppauspinta-ala, E on kentänvoimakkuus, G on antennin vahvistus (dipoliantennin vahvistus 2.1 dBi), λ on aallonpituus (900 MHz:n alueella $\lambda = 0,33$ m) ja η on aaltoimpedanssi ($120\pi \Omega \approx 377 \Omega$).

Kentänvoimakkuusrajat epätasapaino huomioonotettuna ovat siten

$$E_{MS}(dB\mu V / m) = smv(dB\mu V) + 21.1dB + E_p(dB) , \quad (2.8)$$

missä E_{MS} on kentänvoimakkuus ajoneuvoaseman luona, smv on 95 % signaloinnin onnistumistodennäköisyyttä vastaava jännite tukiaseman vastaanottimen navoissa ja E_p on siirtosuuntien epätasapaino. Jännitteen tukiaseman vastaanottimen navoissa on oltava suurempi kuin 7 dB μ V (smv) matkapuhelimelle ja 14 dB μ V (smv) käsipuhelimelle.

2.4.1. RADIOAALTOJEN ETENEMINEN VAPAASSA TILASSA

Vapaassa tilassa antennista lähtevä säteily muodostaa pallon pinnan, joka etenee joka suuntaan samalla nopeudella. Etenemistä kuvataan tavallisimmin kentänvoimakkuuden avulla. Tällöin on määriteltävä käytetty lähetysteho ja antenni. Vapaan tilan kentänvoimakkuuden tehollisarvo on

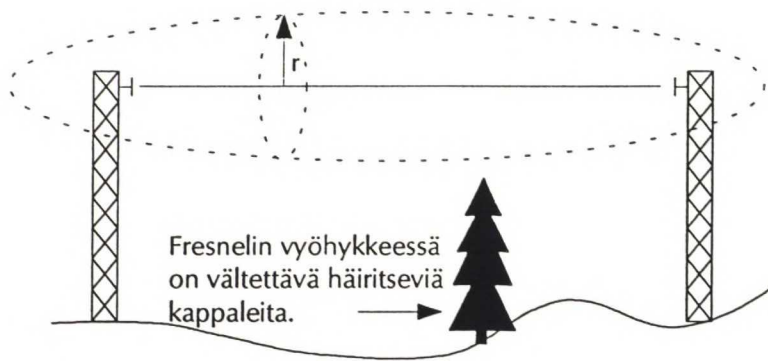
$$E = \frac{1}{R} \sqrt{30P_t} . \quad (2.9)$$

Kaavassa R on etäisyys ja P_t lähetysteho. Kaavasta nähdään, että kentänvoimakkuus ei riipu taajuudesta. Taajuusriippuvuus aiheutuu antennin sieppauspinta-alasta. Antennin sieppauspinta ja vastaanotettu teho ovat korkeampia matalilla kuin korkeilla taajuuksilla. Muita taajuusriippuvuuksia syntyy eri taajuuksien heijastuksista ionosfääristä, havaitsijan liikkeestä sekä maastoesteistä. Metsän ja mäkien vaikutus on pienempi matalilla kuin korkeilla taajuuksilla. [9]

Vapaan tilan etenemiselle on edellytyksenä se, että Fresnelin 1. vyöhyke on vapaa (kuva 2-10). Vyöhykkeen säde saadaan kaavasta

$$r_f = \sqrt{\frac{c}{f} \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}, \quad (2.10)$$

missä c on valon nopeus, f on taajuus, d_1 on etäisyys lähettimestä ja d_2 on etäisyys vastaanottimesta. Käytännön tilanteissa vyöhyke ei yleensä ole vapaa, minkä vuoksi yhteysvälivaimennus on paljon suurempi kuin vapaan tilan vaimennus. [9] Myös rakennuksen katon reuna on otettava huomioon laskuissa. [27]



KUVA 2-10. Fresnelin vyöhyke.

Jänteellä voi esiintyä useita erimuotoisia esteitä, joiden yhteisvaikutusta on vaikea laskea.

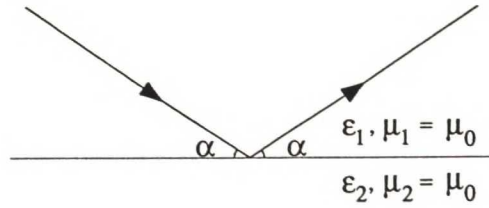
Tasaisesta rajapinnasta tapahtuvan *heijastuksen* heijastuskerroin on vaakapolarisaation tapauksessa

$$\rho_h = \frac{\sin \alpha - \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \cos^2 \alpha}}{\sin \alpha + \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \cos^2 \alpha}}, \quad (2.11)$$

sekä pystypolarisaation tapauksessa

$$\rho_v = \frac{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \sin \alpha - \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \cos^2 \alpha}}{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \sin \alpha + \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \cos^2 \alpha}} . \quad (2.12)$$

Kaavojen 2.11 ja 2.12 merkinnät selviävät kuvasta 2-11. [1]



KUVA 2-11. Heijastus tasaisesta rajapinnasta.

Monitie-etenemisessä vastaanotettu signaali saapuu vastaanottoantenniin kahta tai useampaa erillistä signaalitietä pitkin. Eri etenemisteiden kulkuaikaerot ovat suuruusluokkaa 0,1 - 30 ns. [1]

Matkaviestimen radiotien keskimääräinen vaimennus voidaan normaalikokoisille soluille ennustaa Okumura-Hata-mallilla. Kaupungissa vaimennus on mallin mukaan

$$L_1 = 69.6 + 26.2 \lg(f) - 13.8 \lg(h_{BS}) - A_{h_{MS}} + [44.9 - 6.55 \lg(h_{BS})] \lg(d) \quad (2.13)$$

Tässä f on taajuus megahertseinä, h_{BS} on tukiaseman antennikorkeus (m), h_{MS} on matkaviestimen antennikorkeus (m), d on etäisyys kilometreinä ja $A_{h_{MS}}$ on korjaustekijä, jonka arvo riippuu ympäristöstä.

2.4.2. SISÄTILAN PEITTO

Kun radioaalto kohtaa rakennuksen, se heijastuu osittain takaisin ja osittain jatkaa matkaansa ikkunoiden tai seinien läpi. Betoniseinien sisällä oleva rauta vaikeuttaa

erityisesti tunkeutumista, samoin peltikatto heijastaa radioaaltoja. Puu- ja tiilirakenteilla on vain vähän vaikutusta radioaaltojen etenemiseen. [9] Myös tulokulmalla on suuri merkitys vaimenemiselle.

Suunnittelussa rakennuksen vaimennukseksi määritellään usein ulkona kadulla mitatun ja sisällä koko kerroksessa havaitun kentänvoimakkuuden ero.

Sisätilan peitolle on kehitelty erilaisia kokeellisesti saatuja lausekkeita. Yhteysväli-vaimennusta voidaan mallintaa kaavalla 2.14:

$$L = L(d) + W_e + pW_i + kG_f, \quad (2.14)$$

missä $L(d)$ on vaimennus etäisyydellä d olevasta tukiasemasta rakennukseen, W_e on ulkoseinän vaimennus, W_i on väliseinien vaimennus ja p näiden lukumäärä, G_f on vaimennuksen muutos kerrosta kohden ja k on kerroksen järjestysnumero. Mikro-soluissa termiä G_f ei käytetä. [9]

2.4.3. KENTÄNVOIMAKKUUSMITTAUKSET

Telen kentänvoimakkuusmittaukset on tehty "perinteisesti" suunnittelemalla tukiaseman läheisyydestä reitti, joka on ajettu samalla mitaten kentänvoimakkuus kyseiseltä reitiltä. Karttaan on merkitty referenssipisteitä, jotka ajon aikana on merkitty myös mittaus-tuloksiin. Tuloksena saadaan kentänvoimakkuus kuljetun matkan funktiona. Tulokset täytyy vielä jälkikäsitellä siten, että kuuluvuusalueen rajat saadaan siirrettyä kartalle.

Matkapuhelinpalvelut-yksikköön on kehitteillä GPS-järjestelmään (Global Positioning System) perustuva mittalaitteisto, jolla kentänvoimakkuus saadaan tiedostoon suoraan maantieteellisten koordinaattien funktiona. Tällöin tulokset voidaan esittää digitaalisella kartalla ilman vaivalloista jälkikäsitelyä. [24]

2.5. PARAMETRIT

Parametrien oikealla valinnalla on oleellinen merkitys verkon toimivuuden optimoinnissa. Parametreilla pyritään saamaan aikaan matkapuhelinverkko ilman turhia kuuluvuusalueiden päällekkäispeittoja.

Järjestelmäparametreilla ohjataan matkapuhelinkeskuksen päätöksentekoa, joka vaikuttaa tukiasemien ja matkapuhelinten toimintaan [15]. Parametrit voivat vaikuttaa myös suoraan tukiasemilla. MTX-kohtaiset parametrit vaikuttavat kaikkiin tukiasemiin. Tukiasemakohtaiset parametrit sen sijaan sallivat soluille itsenäisemmän toiminnan ja näin ollen mahdollistavat joustavan erikokoisten solujen käytön.

Kuvassa 2-12 on esitetty kanavanvaihtoon liittyviä parametreja. Ne liittyvät oleellisesti kentänvoimakkuuteen, ja niillä voidaan vaikuttaa esimerkiksi solujen kokoon ja puheen laatuun. Kentänvoimakkuuteen perustuva puhelun siirto on nopeampi kuin signaalikohinasuhteeseen perustuva siirto.

ULS tarkoittaa matkapuhelimen lähetystehon alennusta. Jos matkapuhelin on hyvin lähellä tukiasemaa, on vältettävä liian suurta lähetystehoä. Mikäli signaali on liian voimakas, MTX ohjaa matkapuhelimen alentamaan lähetystehoä. Tehonalennus tapahtuu puhelun alussa puhelunmuodostuksen osana. Parametrillä pyritään estämään häiriöiden syntymistä.

LLS tarkoittaa signaalinvoimakkuuden kynnysrajaa puhelun siirrolle puhelun alussa. Tämä parametri, kuten *ULS*, liittyy puhelun alussa tehtävään kentänvoimakkuusmittaukseen. Mikäli raja-arvo alitetaan, yritetään puhelun siirtoa toiselle tukiasemalle. *LLS*-parametri on suuruusluokaltaan L_H -parametrin tasoa.

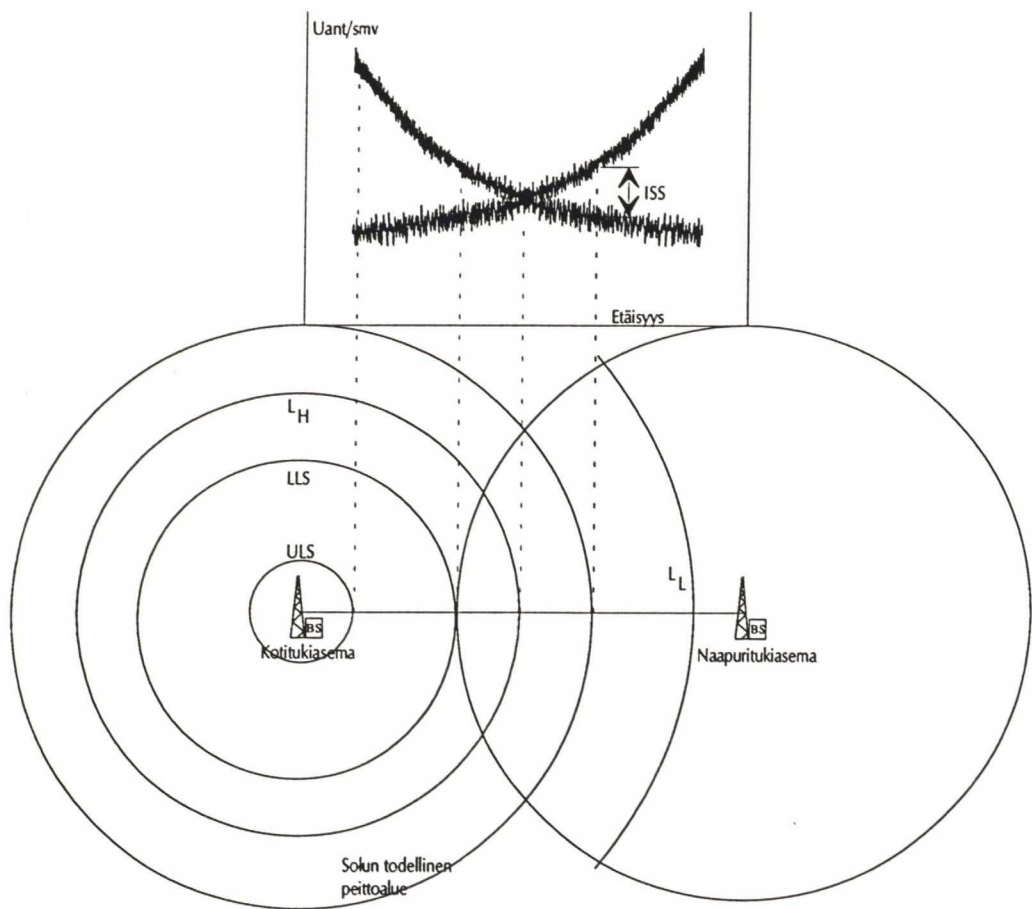
L_H tarkoittaa puhelun siirron aloittamista. Kun kentänvoimakkuus alittaa tämän parametrin määräämän arvon, aloitetaan yhteysvastuun vaihto (*handover* eli *SCIP*).

ISS on kentänvoimakkuusparametri, jolla määrätään, milloin puhelun siirto toteutetaan. Parametri ilmaisee vaadittavaa koti- ja naapuritukiaseman kentänvoimakkuuksien eroa. Mikäli arvo on liian pieni, voi puhelu siirtyä tukiasemien raja-alueilla edestakaisin. Tällöin myös signalointi saattaa epäonnistua (kuittaus epäonnistuu). Liian suurella arvolla puhelu siirtyy kahden tukiaseman välimaastossa huomattavan laajan alueen sisällä. Puhelu saattaa myös jäädä roikkumaan liian pitkäksi aikaa samalle tukiasemalle. Vierekkäisten tukiasemien mahdolliset erilaiset lähetystehot on otettava huomioon

parametrin asettelussa, minkä vuoksi arvo voi olla positiivinen tai negatiivinen. Parametri on aina naapurisuuskohtainen ja voi olla erilainen eri suuntiin.

ISSH on sama parametri kuin *ISS*, mutta se on tarkoitettu käsipuhelimelle. *MTX:n* laiterekisterin perusteella tiedetään, mikä päätelaite on autopuhelin ja mikä käsipuhelin.

L_L on kentänvoimakkuusarvo, jolla tukiasema katkaisee puhelun. Tämä parametri on tavallaan viimeinen keino, jolla häiriötä aiheuttava puhelu katkaistaan.



Kuva 2-12. Kanavanvaihtoon liittyviä parametrejä.

Valvontasignaalin eli Φ -parametrin avulla tarkkaillaan S/N -suhdetta, jonka perusteella toteutetaan siirtokytkeä toiselle tukiasemalle (Φ_1) tai puhelu katkaistaan (Φ_2).

Muita parametrejä, jotka voivat vaikuttaa laatumuutoksista tehtävään radioverkkosuunnitteluun, ovat seuraavat:

RE on parametri, jolla määrätään jonotuksesta tai kanavahausta. Jos matkapuhelin on B-tilaajana ja tukiasemalla ei ole vapaata liikennekanavaa, voidaan joko jäädä jonottamaan vapaata kanavaa tukiasemalta tai ryhtyä tutkimaan määrättyjen lähitukiasemien kanavia. Jälkimmäisessä tapauksessa vaaditaan luonnollisesti soluilta päällekkäispeittoa.

DM on signaalinvoimakkuuden oletusarvo kotitukiasemalle silloin, kun MTX ei saa kotitukiaseman mittausrvoa puhelun siirtoa yritettäessä. DM-parametrin on oltava tarpeeksi alhainen, jotta puhelu ei jäisi roikkumaan kotitukiasemalle MS:n jo ollessa signaalintirajan ulkopuolella.

MLS on signaalinvoimakkuuden taso tukiaseman sisäiselle kanavanvaihdolle. Tämä parametri siis liittyy puhelun siirtoon. Mikäli naapuritukiasemien signaalinvoimakkuudet eivät ole ISS:n verran kotitukiaseman arvoa paremmat, kotitukiaseman tulosta verrataan MLS-parametrin arvoon. Jos tämä arvo ylitetään, yritetään puhelun siirtoa kotitukiaseman jollekin toiselle kanavalle. Näin yritetään välttää häiriöllisten tai viallisten kanavien käyttöä.

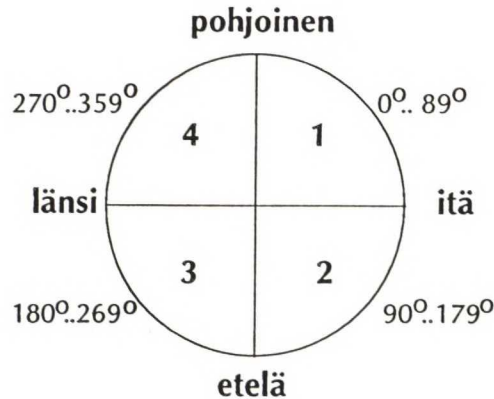
IREP on kentänvoimakkuuden mittausten toistoväli. IREP voi saada arvot 0, 5, 10, 15 tai 20 sekuntia. Mitä pienempi arvo on, sitä nopeammin solusta poistutaan. Parametrin pienentäminen lisää mittausten määrää, mikä vaikuttaa muun muassa datakanavien tarpeeseen. Lisäksi IREP-parametrin pienentäminen aiheuttaa mittausrvoihin epätarkkuutta, joten todennäköisyys väärän mittaustuloksen saamiseen signaalin hetkellisen huipun tai minimin johdosta kasvaa. Tämän voi ottaa huomioon ISS-parametrillä.

Antennin **korkeus-** ja **suuntaparametrit** määrätään kapasiteetti- ja toistumakuvioiden perusteella. Solut voidaan jakaa antenniensa perusteella kolmeen ryhmään:

- suursolut, joissa antenni on puiden latvatasen yläpuolella
- mikrosolut, joiden antenni on kattotason alapuolella
- sisäsolut, joissa antenni on sijoitettu rakennuksen sisälle

Antennien suuntakuviot voi olla ympärisäteilevä tai sektoroitu. Sektorit voidaan jakaa neljään osaan kuvan 2-13 mukaisesti. Suunnan perusteella tukiasema nimetään siten,

että viisikirjaimisen nimen perään lisätään sektoria osoittava numero. Mikäli kyseessä on ympärisäteilevä antenni, käytetään numeroa 0.



KUVA 2-13. Sektoreiden numerointi.

Liitteessä 1 on lueteltu NMT 900 -verkon parametrejä sekä niiden arvojen vaihteluvälit.

2.6. TYYPPIHVÄKSYNTÄ

NMT-järjestelmän puhelimet on tyyppihyväksyttävä ennen käyttöönottoa. Tele-Engi-neerin testauslaboratorio tarjoaa ainoana liikenneministeriön ja Telehallintokeskuksen valtuuttamana radiolaitteiden tyyppitarkastusta Suomessa.

NMT 900 -järjestelmän käsipuhelinten hyväksyttävät ominaisuudet on spesifioitu hyvin tarkkaan NMT-työryhmässä (Nordic Mobile Telephone group). Vaadittavat testit tehdään yhdelle laitteelle, ja tulosten perusteella laitemalli joko hyväksytään tai hylätään.

Tyyppihyväksytyt laitteet luokitellaan A-, B- ja C-kategorioihin. *A-kategorian* matkapuhelimet on tarkastettu tyyppihyväksyntävaatimukset täyttäen. *B-kategorian* matkapuhelimeissa on todettu myöhemmin jokin merkitykseltään vähäinen puute, jonka takia puhelinten määrää halutaan rajoittaa. Näitä puhelimia ei hyväksytä uusina verkkoon sovitun päivämäärän jälkeen. *C-kategorian* matkapuhelimeen on määrätty tehtäväksi muutoksia. Muutostyöt on tehtävä ennen sovittua päivämäärää, koska C-kategorian puhelimet poistetaan tämän jälkeen verkosta. Muutostöiden jälkeen puhelimen tyyppiä muutetaan. [29]

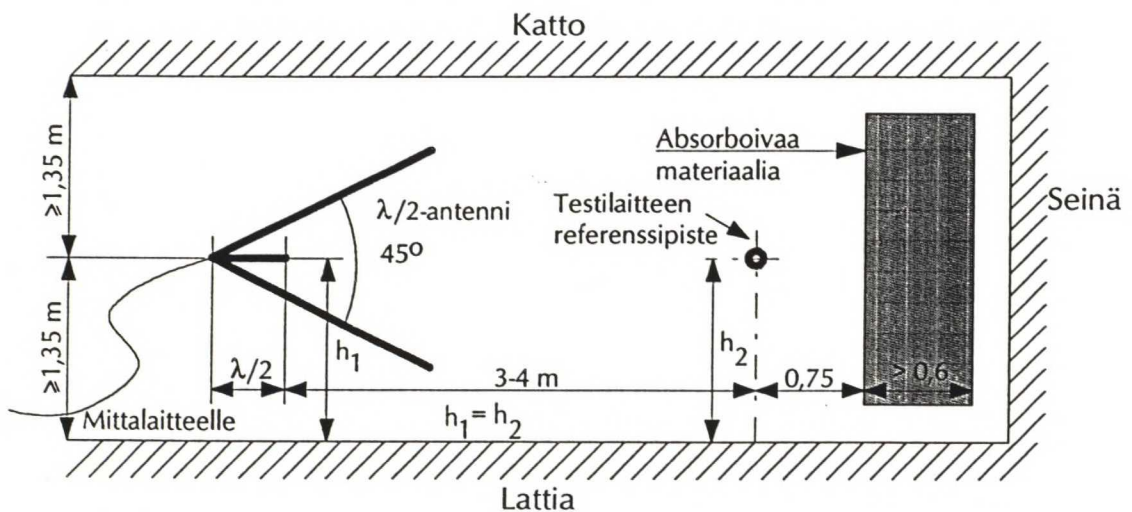
Tyyppihyväksyntä voidaan joko peruuttaa tai muuttaa määräaikaiseksi, mikäli todetaan, että markkinoille tuodut puhelimet eivät enää vastaa tyyppihyväksytyjä laitteita. Samoin tehdään, jos Suomen, Ruotsin, Norjan ja Tanskan telehallintojen yhteisellä päätöksellä muutetaan matkapuhelimien teknisiä tai toiminnallisia vaatimuksia.

2.6.1. TESTIOLOSUhteISTA

Testiolosuhteet määritellään tarkasti, ja niissä otetaan huomioon myös lämpötilan vaihtelut sekä värinä. [5]

Normaaliolosuhteet tarkoittavat tilannetta, missä lämpötila on välillä $+15\text{ °C} - +35\text{ °C}$ sekä suhteellinen kosteus $20\% - 75\%$. Äärimmäiset testiolosuhteet tarkoittavat tilannetta, missä lämpötila on välillä $-25\text{ °C} - +55\text{ °C}$.

Puhelinten säteilytehoa varten tarvitaan radiokaiuton huone, joka on eristetty hyvin häiriöiltä. Spesifikaatioiden määrittämä mittaushuone on kuvan 2-14 mukainen. Työssä tehtiin säteilytehojen mittaukset Tele-Engineerin Lauttasaassa sijaitsevassa mittaushuoneessa, joka on absorboreiden kanssa kooltaan $748 \times 445 \times 276\text{ cm}$.



KUVA 2-14. Spesifikaatioiden määrittämä huone säteilykuvion mittauksiin. [5]

Spesifikaatioiden määrittämässä huoneessa tulee olla maataso, jonka halkaisija on vähintään 5 metriä. Keskellä maatasoa pitää olla johtamattomasta materiaalista tehty pyörivä taso, jonka päällä 1,5 metrin korkeudella voidaan pitää testattavaa laitetta. Lauttasaaren radiokaiuttomasta huoneesta tämä maataso puuttuu, joten spesifikaatioiden mukaiset tyyppihyväksyntämittaukset tehdään tältä osin muualla. Huoneessa tehtyjen mittausten pohjalta voidaan kuitenkin päätellä puhelinten säteilykuviot vapaassa tilassa.

3. KÄSIPUHELINTEN OMINAISUUKSISTA

3.1. RADIOTEKNISET OMINAISUUDET

Lähettimen maksimiteho NMT 900 -järjestelmässä on autopuhelimella 6 W ja käsipuhelimella 1 W. MTX ohjaa matkapuhelimen lähetystehoja. Käytetyt tehotasot ovat 6, 1, ja 0,1 W.

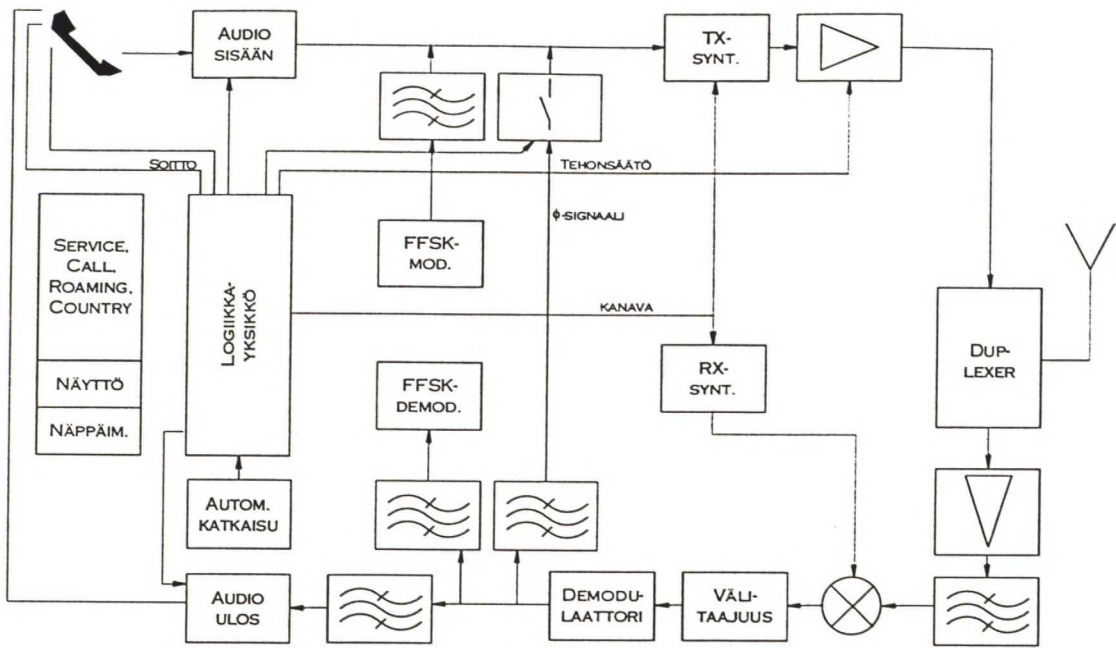
Käsipuhelinten akkujen säästämiseksi on käytössä paristonsäästötoiminto, jossa MTX "nukuttaa" osan valmiustilassa olevista puhelimista. Tällä tavoin saadaan käsipuhelinten valmiusaikaa pidennettyä noin nelinkertaiseksi.

Kuvassa 3-1 on puhelimen toiminnallinen lohkokaavio. Mikrofonista puhe kulkee audio-osan kautta lähettimen syntetisoijalle, jossa moduloidaan lähetettävän kanta-aallon taajuutta. Tästä signaali ohjataan duplex-suodattimen kautta antenniin.

Tukiasemalta tuleva signaali kulkee duplex-suodattimen RX-haaran kautta vastaanottimeen, joka on sekoitustyyppinen (*heterodyne*). Täällä RX-syntetisoijalta tuleva signaali toimii paikallisoskillaattorina (*Local Oscillator*). RX- ja LO-signaalien sekoitustulos on aina vakiotajuinen, joten sitä varten on mahdollista tehdä riittävän selektiivisiä suodattimia. Välitaajuudella oleva signaali ilmaistaan ja johdetaan audio-osan kautta kuulokkeelle.

Φ -signaalia varten on vastaanottimessa oma reittinsä. Φ -signaalia ei erikseen vahvisteta puhelimessa, vaan se lähetetään sellaisenaan takaisin tukiasemalle.

Myöskään data ei kulje audio-osan läpi, vaan se ohjataan suoraan prosessorille ilmaisun jälkeen.

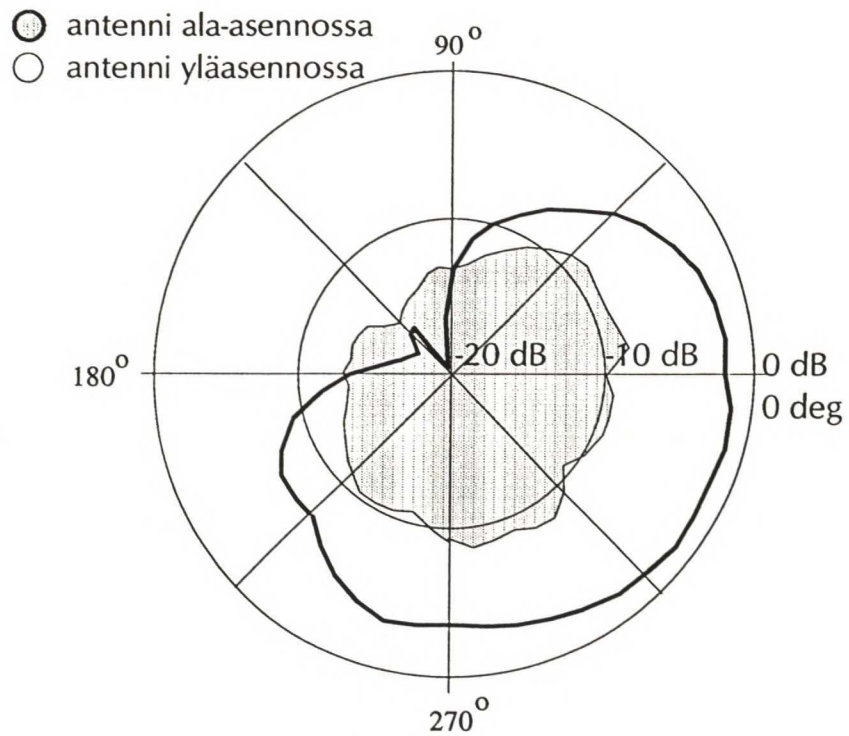


KUVA 3-1. NMT 900 -järjestelmän matkapuhelimen lohkokkaavio.

3.2. KÄSIPUHELINTEN ANTENNIT

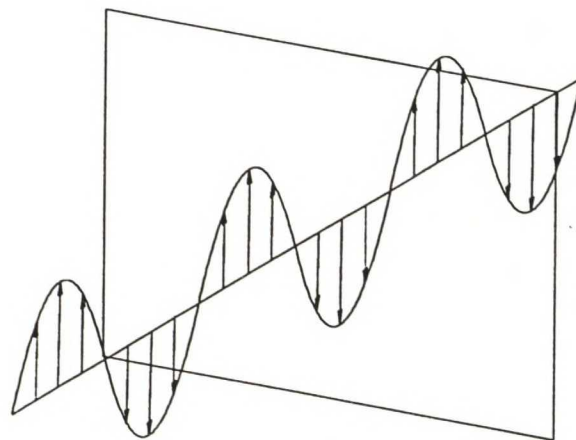
Täysin ympärisäteilevä antenni olisi matkapuhelimessa ihanteellisin ratkaisu. Tällöin matkapuhelimen asennolla ei olisi mitään merkitystä yhteyden laadun kannalta. Käytännössä tilanne eroaa kuitenkin huomattavasti ihannetilanteesta. Kuvassa 3-2 on esitetty eräs matkapuhelimen säteilykuvio antenni ylä- ja ala-asennossa. Mittaus on tehty radiokaiuttomassa huoneessa puhelimen ollessa pystyasennossa ilman heijastavaa maatasoa.

Kuviossa ei ole otettu huomioon ihmisen vaikutusta. Pään vaikutusta säteilykuvioon on mitattu eri yhteyksissä, ja vaikutus on käytännön mittauksissa otettavissa huomioon esimerkiksi suolapatsaan avulla. Pään vaimentava vaikutus on noin 10 dB, ja ihmisen keskimääräiseksi vaimennukseksi arvioidaan noin 3 dB. [7, 27]



Kuva 3-2. Eräs matkapuhelimen säteilykuvio.

Matkaviestinjärjestelmissä käytetään pysty- eli vertikaalipolarisaatiota, jossa sähkökenttävektorin suunta on maan pintaan nähden kohtisuorassa (kuva 3-3).



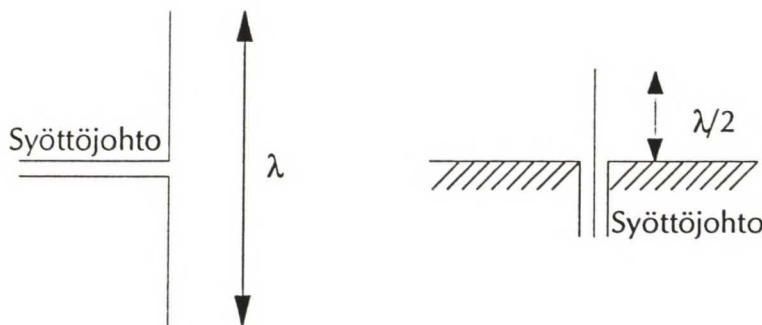
Kuva 3-3. Matkaviestinjärjestelmissä käytetään vertikaalipolarisaatiota.

Vastaanottoantennin polarisaation on oltava sovitettu lähetinantennin synnyttämään kenttään, jotta radioyhteys olisi mahdollisimman hyvä. Vertikaalipolarisaation

tapauksessa molempien antennien polarisaatioiden on oltava yhdensuuntaiset. Matkaviestinjärjestelmissä kuitenkin vastaanotettu signaali koostuu yleensä monista heijastuksista, jolloin tapahtuu polarisaatioiden välistä ristikytkeytystä. Tällöin voidaan vertikaalipolarisoitua lähetettä vastaanottaa myös horisontaalisella dipolilla. [18]

Kannettavissa matkapuhelimeissa käytetään tyypillisesti dipoliantennia. Muita ratkaisuja ovat mikroliuska-, helix- ja kehäantenni.

Dipoliantenni koostuu kahdesta metallilangasta (kuva 3-4). Puolenaallon dipolin suuntaavuus on 2,1 dB ja kokoaallon dipolin 3,8 dB. [17]



Kuva 3-4. Dipoli- ja monopoliantennien periaatekuva.

Dipolin syöttö tapahtuu symmetrisesti. Jos syöttö halutaan tehdä koaksiaalijohdolla, tarvitaan symmetriamuuntaja (*balun*, *balance to unbalance transformer*). Kannettavassa puhelimessa dipoliantenni on usein hankala, joten toinen elementti korvataan maatasolla. Tällaisesta antennista käytetään nimitystä *monopoli*.

Helix- eli kierukka-antenni on melko yleinen käsipuhelimeissa, koska se on pienikokoinen. Mikäli helix-antennin ympärysmitta $2\pi r$ on aallonpituuden λ luokkaa, toimii se pääty säteilijänä. Jos taas $2\pi r$ on paljon pienempi kuin aallonpituus, säteily tapahtuu lähes samalla tavoin kuin suorasta langasta, joskaan polarisaatio ei tällöin ole lineaarinen. [17]

Nykyisten NMT 900 -järjestelmän käsipuhelinten antennit ovat joko kiinteitä, sisään työnnettäviä tai saranoituja.

Kiinteän antennin etuna on se, että antenni on myös vaikkapa taskussa parhaassa asennossa.

Sisääntyönnettävien antennien etuna on, että puhelin mahtuu pieneen tilaan. Testattavana olleista puhelimista kahdessa oli sisääntyönnettävä antenni. Molemmissa toimii puhelimen päässä oleva pienehkö helix-antenni varsinaisen antennin ollessa sisällä.

Saranoitu antenni on hyvä siinä mielessä, että puhelimen ollessa valmiustilassa pöydällä vaaka-asennossa, voi antennin suunnata ylöspäin. Toisaalta antennin ollessa taitettuna mahtuu puhelin pieneen tilaan. Saranoitu antenni voi olla joko puhelimen kyljessä tai puhelimen päällä.

Ongelmana saranoiduissa tai sisääntyönnettävissä antenneissa on se, että liitoskohdat saattavat kulua ja hapettua ajan myötä. Tämä voi vaikuttaa puhelimen toimintasäteen pienenemiseen. Toinen ongelma näillä antenneilla on se, että ne eivät välttämättä toimi kunnolla sisäasennossa. Tyyppihyväksyntämittaukset tehdään aina antennin ollessa yläasennossa, joten ala-asennossa antennit eivät välttämättä täyttäisi spesifikaatioiden määräyksiä. Kolmantena haittapuolena on antennien mekaaninen kestävyys – kiinteä antenni saattaa olla tukevampi esimerkiksi taskussa verrattuna liikkuvaan antennin yläasennossaan.

3.3. KÄSIPUHELINTEN LIITTIMET

Käsi puhelimilla on liitin lähinnä auton asennussarjaan. Myös erillinen antenniliitin on mahdollinen.

Liittimet hapettuvat ja likaantuvat väistämättä ajan myötä. Vaikutus riippuu kuitenkin suuresti puhelimen käyttötavoista ja -olosuhteista. Tämän johdosta on lähes mahdotonta todentaa yleispätevästi mittauksilla muutosten vaikutusta.

4. LAITEKANNAN JAKAUMAT

Laitekannan jakaumia on selvitetty TELEN ylläpitämistä tilastotiedostoista.

4.1. TYYPPIKOHTAINEN JAKAUMA

Diplomityössä on tutkittu laboratorio- ja käytännön testein viisi erityyppistä käsipuhelinta, joita tässä merkitään symboleilla A, B, C, D ja E. Kyseisten puhelinten markkinaosuudet olivat työn aikana suhteellisen suuret lukuunottamatta mallia E, joka ilmestyi markkinoille vuoden 1993 aikana. Lisäksi on tutkittu neljää 3-4 vuoden ikäistä puhelinta. Koska nämä puhelimet ovat keskenään samankaltaisia radioteknisiltä ominaisuuksiltaan, niitä merkitään yhteisellä symbolilla F.

Malli A koostuu kahdestatoista eri tyypistä, jotka radioteknisesti vastaavat toisiaan. Tyyppimerkinnän muutokset johtuvat lähinnä pienistä ohjelmistomuutoksista. Nämä tyypit kuuluvat A-kategoriaan lukuunottamatta kolmea tyyppiä, jotka ovat B-kategoriassa.

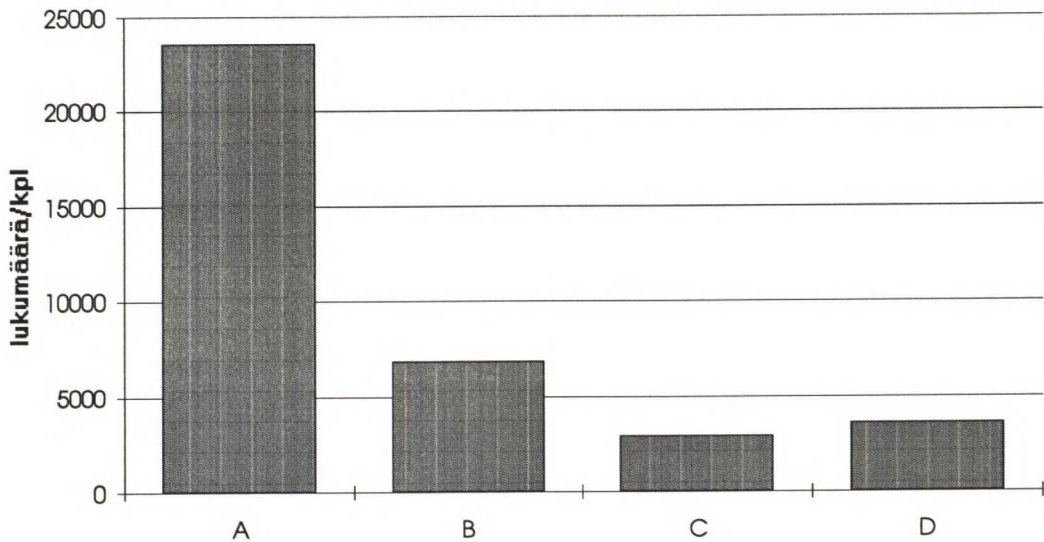
Malli B koostuu kolmesta eri tyypistä, jotka kuuluvat A-kategoriaan. Tämä johtuu siitä, että versiomuutokset ovat aiheutuneet hyvin pienistä puutteista.

Malli C koostuu kahdesta tyypistä, jotka molemmat kuuluvat A-kategoriaan.

Malli D koostuu viidestä A-kategorian tyyppimerkistä.

Malli E koostuu kolmesta tyyppimerkistä. Tämä malli on sen verran uusi, että se ei ehtinyt kaikkiin diplomityön testeihin.

Malli F koostuu kahdesta mitatusta tyypistä.

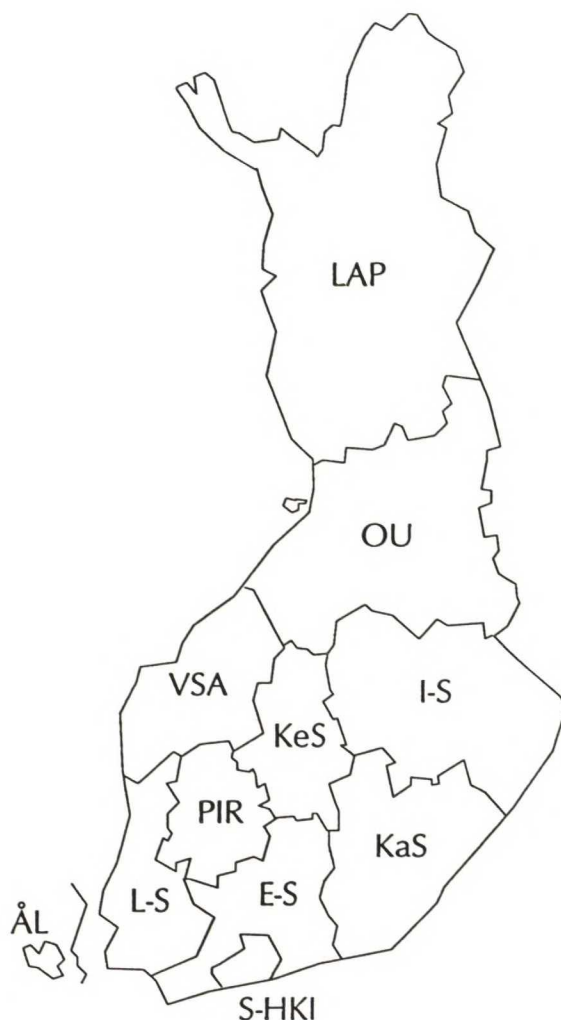


KUVA 4-1. Testattujen tyyppien lukumäärä Suomessa.

Kuvasta 4-1 havaitaan, että mallilla A on testatuista puhelimista merkittävin osuus laitekannasta Suomessa. Malli B on toisella sijalla, joskin mallit D ja C ovat kohtalaisen lähellä mallin B arvoa. Mallia E ei vielä 31.3.1993 ollut olemassa. Koko NMT 900 -laitekanta 31.3.93 oli 204348 puhelinta, joista käsipuhelimia oli 135202 kappaletta eli 66 prosenttia. Mallin A osuus laitekannasta on siis 11,6 % (käsipuhelimista 17,6 %), mallin B 3,8 % (käsipuhelimista 5,7 %), mallin D 1,8 % (käsipuhelimista 2,7 %) ja mallin C 1,5 % (käsipuhelimista 2,2 %). Vuoden 1994 alussa käsipuhelinten osuus oli kasvanut edelleen; käsipuhelimia oli tuolloin noin 72 % laitekannasta.

4.2. MAANTIETEELLINEN JAKAUMA

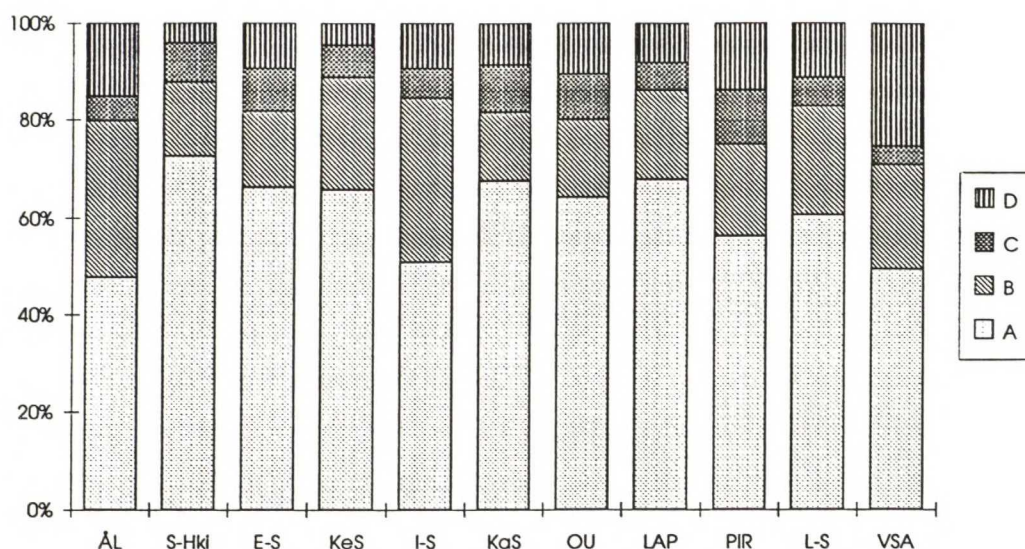
Maantieteellinen jakauma on selvitettävissä entisten telepiirien tarkkuudella (kuva 4-2). Telepiirejä on 11 kappaletta.



KUVA 4-2. Laitekannan maantieteellinen jakauma voidaan selvittää telepiirien tarkkuudella. Verkon kuormitus sitä vastoin voidaan selvittää MTX-keskuksista.

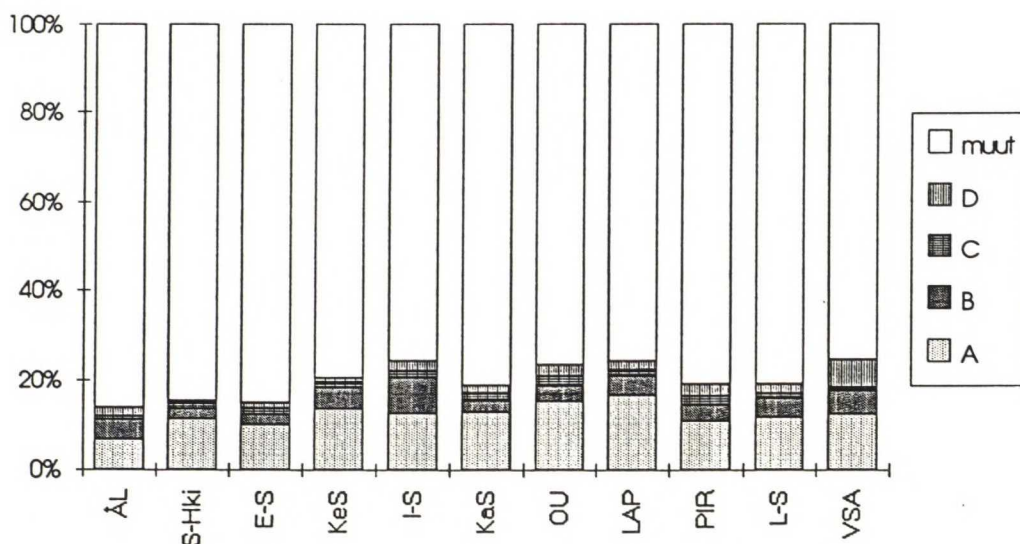
Lähteestä [30] voidaan havaita, että NMT 900 -verkon laitekanta on keskittynyt Etelä- ja Länsi-Suomeen.

Kuvassa 4-3 on tarkasteltu mitattujen ja niitä vastaavien tyyppien jakaumaa prosentteina telepiireittäin verrattuna toisiinsa (tilanne 31.3.1993).



Kuva 4-3. Mitattujen tyyppien jakauma prosentteina verrattuna toisiinsa telepiireittäin.

Kuvassa 4-4 on otettu huomioon myös muu laitekanta, johon kuuluvat käsi- ja autopuhelimet.



Kuva 4-4. Tyypit telepiireittäin huomioituna kaikki laitteet.

Ahvenanmaalla tarkasteltavat laitetyypit edustavat 13,7 %:n osuutta NMT 900 -laitekannasta. Mallit A ja B ovat hallitsevia testatuista laitteista, mutta näiden osuus koko Ahvenanmaan laitekannasta on vain 6,7 % ja 4,4%.

Suur-Helsingin alueella tarkasteltavia laitetyppejä on 15,3 % koko laitekannasta. Malli A on hallitseva testatuista laitteista (11,1% laitekannasta). Muilla testatuilla laitteilla on vain vähäinen asema alueella (0,6..2,3% laitekannasta).

Etelä-Suomessa poislukien Suur-Helsinki on tarkasteltavia laitteita 14,9 %. Tällä alueella malli A on hallitseva testatuista laitteista, mutta sen osuus koko laitekannasta on 9,9 %.

Keski-Suomessa tarkasteltavia laitteita on 20,5 %. Mallin A osuus on 13,5 %, mallin B 4,7 %. Muilla on huomattavasti pienempi osuus.

Itä-Suomessa on 24,4 % tarkasteltavista laitteista. Mallia B on keskittynyt eniten tälle alueelle, 8,2 %, joskin mallia A on eniten tälläkin alueella, 12,4 %.

Kaakkois-Suomessa tarkasteltavia laitteita on 18,8 %. Mallia A on testatuista laitteista ylivoimaisesti eniten, 12,7 %.

Oulun telepiirissä on 23,5 % tarkasteltavia laitteita. Mallia A on laitekannasta 15,1 %, muita testattuja laitteita 2,1..3,7 %.

Lapin telepiirissä näitä laitteita on 24,4 %. Mallia A on laitekannasta 16,5 %, mallia B 4,4 %, D 2,0 % ja C 1,4 %.

Pirkanmaalla näitä laitteita on 18,9 %. Mallia A on alueella 10,8 %, muita laitteita 2,2..3,6 %.

Länsi-Suomessa näitä laitteita on 19,1 %. Mallia A on 11,5 %, mallia B 4,2 % ja muita 1,2..2,1 %.

Vaasan telepiirissä näitä laitteita on 24,8 %. Alueella on mallia A 12,2 %. Mallia D on suhteellisesti eniten Vaasan telepiirissä, 6,3 %. Mallia B on 5,3 %:n ja mallia C 0,9 %:n osuus.

Mallia A on suhteellisesti eniten testattua tyyppiä kaikissa telepiireissä. Erityisen merkittävä osuus prosentuaalisesti tällä mallilla on Lapin, Oulun ja Keski-Suomen telepiireissä (16,5..13,5 %). Ahvenanmaata lukuunottamatta muissa telepiireissä osuus on 9,9..12,4 %. Ahvenanmaalla osuus on pienin, 6,7 %.

Mallia B on suhteellisen suuri osuus Itä-Suomessa (8,2 %). Kohtalaisesti laitteita on Keski-Suomessa, (4,7 %), Vaasan telepiirissä (5,3 %), Länsi-Suomessa (4,2 %), Lapin telepiirissä (4,4 %) ja Ahvenanmaalla (4,4 %). Pirkanmaalla, Oulussa, Kaakkois-Suomessa, Etelä-Suomessa ja Suur-Helsingissä mallia B on suhteellisen vähän.

Mallia C tyyppiä on kaikissa telepiireissä varsin vähän.

Mallia D on suhteellisesti eniten Vaasassa (6,3 %), muualla niiden osuus on pienekkö.

Ennuste, kuinka laitekannan lukumäärä kehittyy lähivuosina, on esitetty kappaleessa 6.5.

4.3. IKÄJAKAUMA

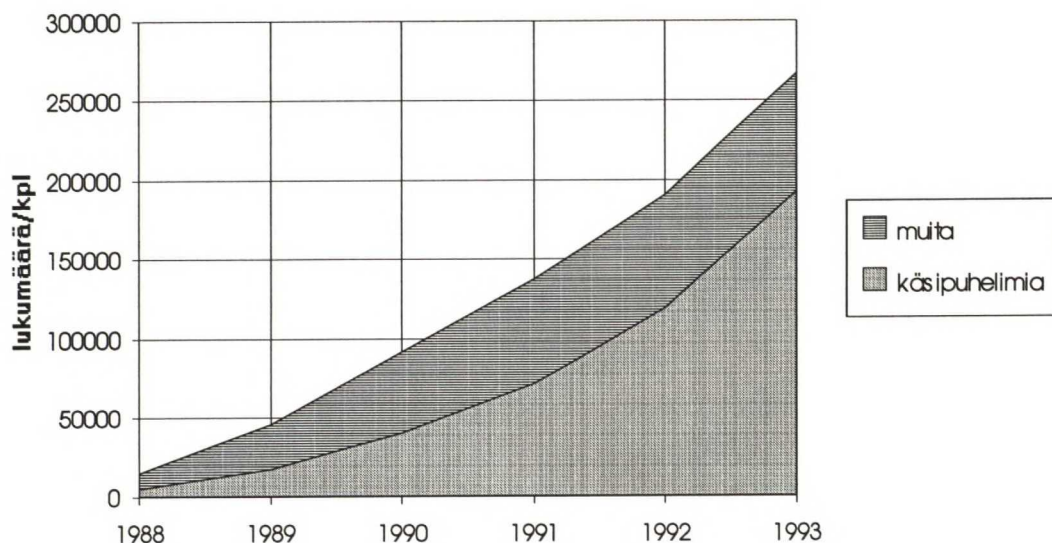
Vanhimmat NMT 900 -käsipuhelimet ovat olleet liikenteessä vuodesta 1988 saakka. Ensimmäisissä puhelimissa oli metalloitu kuori ja kiinteä antenni. Kunnollinen maataso sai aikaan sen, että – huolimatta suuremmasta koostaan – ensimmäiset puhelimet toimivat ilmeisesti vähintään yhtä hyvin kuin monet nykyiset puhelimet.

Ikäjakaumaa voidaan selvittää tutkimalla tilastoja olettaen, että vanhoja puhelimia ei ole vielä merkittävästi poistunut käytöstä. Vuodesta 1988 lähtien NMT 900 -puhelinien määrä on kehittynyt taulukon 4-1 mukaisesti. [30]

TAULUKKO 4-1. Puhelinten lukumäärän kehitys vuosina 1988-1993

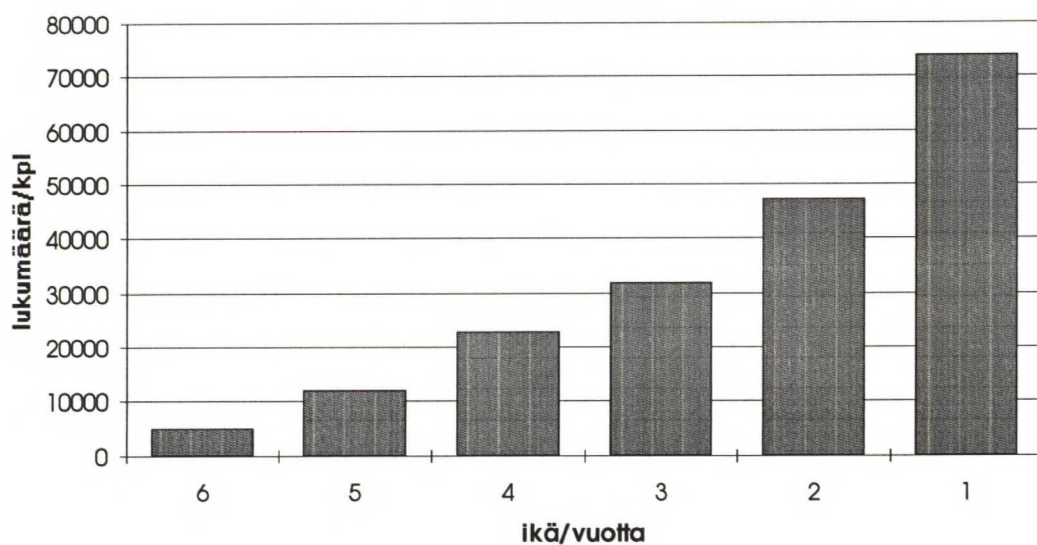
vuosi	käsipuhelimia	käsipuhelimia/%	yhteensä
1988	5027	34.3	14645
1989	16993	37.1	45750
1990	39931	43.4	92110
1991	71800	52.3	137200
1992	119000	62.4	190700
1993	192848	72.1	267307

Kuvasta 4-5 nähdään, kuinka käsipuhelinten osuus laitekannasta on kasvanut kuuden vuoden aikana.



KUVA 4-5. Puhelinkannan kehitys vuosina 1988-1993.

Kuvassa 4-6 on esitetty taulukon 4-1 tietoja hyväksi käyttäen, minkä ikäisiä laitteita NMT 900 -verkossa on. Tässä on oletettu, että vanhoja puhelimia ei ole merkittävästi poistunut käytöstä.



KUVA 4-6. NMT 900 -verkossa käytössä olevien käsipuhelinten ikäjakauma.

4.4. LAITEKANNAN SIIRTYMINEN SUOMESSA

Laitekannan siirtymistä tyyppien tarkkuudella Suomessa telepiirien välillä pitkällä ajanjaksolla on hyvin vaikea selvittää – käytettyjä puhelimia ei tilastoida keskitetysti siten, että tiedot olisivat kohtuullisella työllä selvitettävissä.

Puhelimet siirtyvät lyhyellä ajanjaksolla Suomessa paikasta toiseen johtuen pääasiassa lomasesongeista. Kesä- ja hiihtolomat lienevät selvimmät syyt.

Puhelinten siirtymistä maantieteellisesti voidaan seurata tutkimalla matkapuhelin-keskusten palvelutasotiedostoja. Tällöin on otettava huomioon seuraavia asioita:

- tilaajamäärät
- koti- ja vierastilaajien suhde
- luonnon vaikutus (lehdet puissa, lumi)
- signaalin vääristyminen radiotiellä
- tukiasemavaihdokset
- puhelusuunnat (MS-MS, MS-PSTN, PSTN-MS)
- liikennemittaukset

Toisin sanoen: absoluuttista totuutta on tässä tapauksessa lähes mahdotonta löytää – monet asiat vaikuttavat tilastotietoihin. Melko oikeita johtopäätöksiä on kuitenkin mahdollista tehdä tutkimalla selvimpiä osa-alueita NMT 900 -keskuksien palvelutasosta.

MTX-keskuksien palvelutasotiedostoista on selvitettävissä verkon kuormitus, virhetilanteita ym, joista voi päätellä laitteiden siirtymistä telepiireissä vuositason. Selvimät puhelinten liikkuvuutta indikoivat tilastotiedot ovat:

- B-tilaaja vastaa
- tukiasemavaihdot
- onnistunut puhelu
- onnistunut MTX-päästä-päähän-yhteyden muodostus
- tason 2 hälytys (Φ_2) tukiasemalta

Kahden vuoden tilastoista (1992, 1993) on havaittavissa, että keskuksien kuormituksissa on ajallisia eroja vuositason [22]. Tutkittaessa tapauksia "*B-tilaaja vastaa*" ja "*Onnistunut puhelu*" voidaan havaita, että vuoden 1992 alkuvuoroilla tapauksia on

keskimääräistä vähemmän oikeastaan kaikissa keskuksissa. Suhteellisesti eniten muutosta on keskuksissa Etelä-, Kaakkois- ja Lounais-Suomen alueilla. Seuraava havaittava kuoppa on suurin piirtein viikoilla 16-18 eli huhti-toukokuun vaihteessa. Tällöin on havaittavissa lähes kaikissa keskuksissa jonkinasteinen muutos. Kolmas kuoppa on havaittavissa viikoilla 25-32 eli kesä-heinäkuussa, jolloin puhelujen määrä laskee selvimmin Etelä-Suomessa ja Pirkanmaalla. Muualla tilanne pysyy kohtalaisen tasaisena. Seuraava kuoppa on jo talvella, viikosta 51 eteenpäin. Samat huomiot voidaan tehdä myös vuodesta 1993.

Eri *tyyppisten* puhelinten liikkuvuutta on kuitenkin verkossa ilmenneiden virhetilanteiden perusteella jokseenkin mahdotonta päätellä. Tulokset antavat lähinnä kuvan verkon kuormituksesta eri aikoina. Voidaan tosin olettaa, että matkapuhelintiheyden kasvaessa myös heikkotasoisten puhelinten lukumäärä kyseisellä alueella kasvaa.

5. MITTAUKSET

Käsi puhelinten laatueroja tutkittiin sekä laboratorio- että käytännön mittauksin. Käytännön mittauksia tehtiin sekä maastossa että kaupunkiolosuhteissa.

5.1. LABORATORIOMITTAUKSET

Laboratoriomittaukset tehtiin Telehallintokeskuksen mittauslaboratoriossa. Samassa paikassa tehdään tyyppihyväksyntämittaukset Suomessa myytävälle NMT-puhelimille.

Laboratoriomittaukset tehtiin viidelle A-, B-, C- ja D-tyypin puhelimelle sekä kahdelle E-tyypin puhelimelle. Säteilytehomittauksiin valittiin satunnaisesti yksi kunkin tyypin käsi puhelin.

Mittauksiin valitut puhelimet olivat satunnaisia tuotantokappaleita – ei siis niitä yksilöitä, joita valmistajat lähettävät tyyppihyväksyntämittauksiin.

Jokaisesta yksilöstä mitattiin tehotasot pienellä (0,1 W; low) ja keski- (1 W; medium) tehotasolla. Samoin mitattiin taajuusvirhe, deviaatio +94 dB kuulokynnyksen yli, FFSK-deviaatio, Φ -deviaatio, vastaanottimen herkkyys sekä ulkoisen antenniliitännän seisovan aallon suhde (SAS). Lopuksi valittiin yksi yksilö jokaisesta mallista suuntakuviomittausta varten. Suuntakuviota mitattiin radiokaiuttomassa huoneessa sekä normaalitasossa että noin seitsemän astetta normaalitasosta ylös- ja alaspäin.

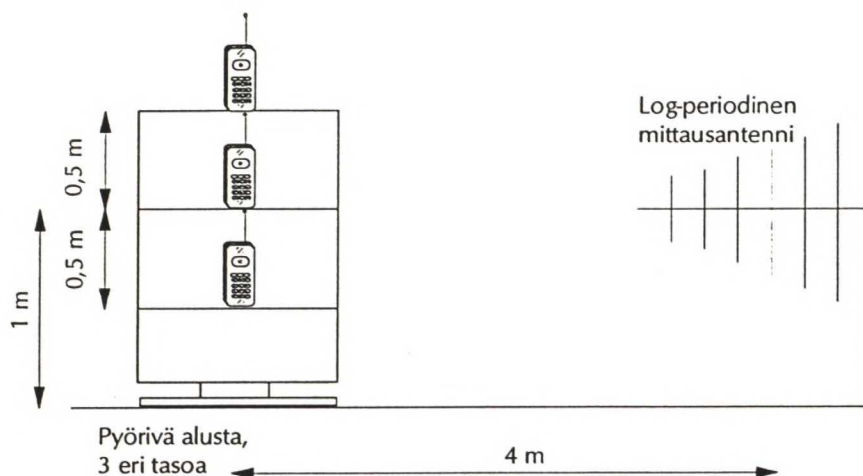
Kuvassa 5-1 on esitetty säteilytehon periaatteellinen mittausjärjestely. Jokaisesta käsi puhelimesta mitattiin suuntakuviota kolmelta eri korkeudelta 1 W:n tehotasolla. Puhelimet asetettiin huoltolaitteen avulla lähettämään kantoaaltoa keskitaajuudella. Mittauksen aikana puhelimen alusta pyörähti täyden kierroksen ympäri.

Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että suuntakuvioiden osalta mittausjärjestely ei ole tyyppihyväksyntäohjeiden mukainen. Ohjeissa mainittu maataso puuttui kaiuttomasta huoneesta, joten lattiaheijastuksia ei syntynyt. Tuloksista voi kuitenkin päätellä säteilytehon vapaassa tilassa. Käytännön olosuhteissa säteilykuviota syntyy ilmeisesti jossakin johtamattoman ja johtavan maatasen välisessä tilanteessa. Myöskään deviaatio +94 dB kuulokynnyksen yli ei ole tyyppihyväksyntämittaus -

vastaava mittaus olisi maksimideviaatio. Tässä tehty mittaus antaa ehkä paremman kuvan käytännön olosuhteita ajatellen.

Muut mittaukset noudattavat tyyppihyväksyntämittausten käytäntöä. Vastaanottimen herkkyys mitattiin 1 kHz:n taajuudella; nykyään tyyppihyväksynnässä tämä mittaus on laajennettu koko puhelimen audiotaaajuuskaistalle.

Säteilytehomittauksissa kuvioiden referenssitaso 0 dB vastaa tässä työssä säteilytehoa 31 dBm.



Kuva 5-1. Suuntakuvioiden mittausjärjestely.

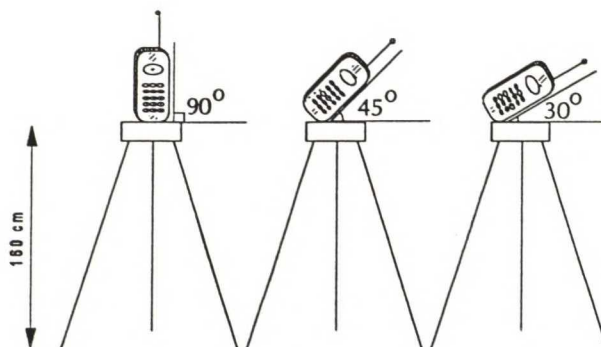
5.2. MAASTOMITTAUKSET

Maastokokeet tehtiin nurmikentällä, missä oli mahdollisimman vähän ulkopuolisia häiriölähteitä vaikuttamassa mittauksiin. Paikka oli Kirkkonummen Kylmälässä noin seitsemän kilometrin päässä Evitskogin tukiasemasta. Tukiaseman yksi kanava sekä testatut matkapuhelimet määriteltiin Tanskan maatunnukseksi, jotta muu liikenne ei olisi häirinnyt mittauksia. Testiin valittiin satunnaisesti kutakin tyyppiä kaksi yksilöä.

Kuvassa 5-2 on esitetty mittausjärjestelyn periaatteellinen idea. Puhelimet kiinnitettiin puualustaan, jonka korkeus maanpinnasta oli 160 cm. Kutakin puhelinta kokeiltiin jokaisessa suunnassa (1-4) kolmella kulmalla (0° , 45° ja 60°) kallistettuna oikealle puhelimen näppäimistöön katsottuna.

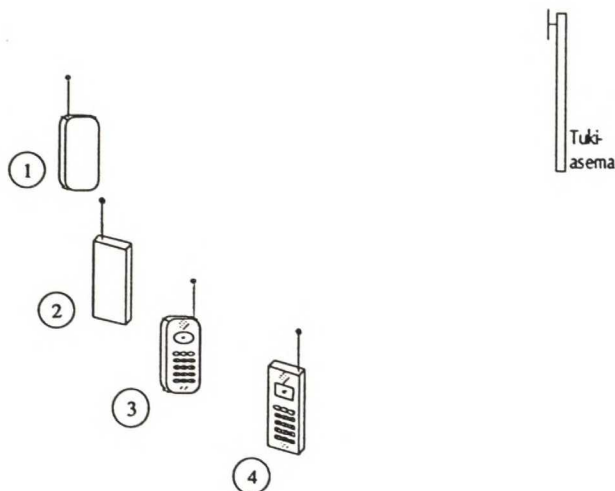
Testissä otettiin jokaisessa asennossa viisi yhteyskokeilua kiinteän verkon tilaajanumeroon. Tällöin yhteydenmuodostus joko onnistui tai epäonnistui tai yhteys katkesi.

Toisessa mittaussarjassa otettiin jokaisella puhelimen asennolla kiinteästä verkosta yhteyskokeiluja käsipuhelimeen siten, että yhteyden olisi pitänyt syntyä minuutin, kahden minuutin ja kolmen minuutin kuluttua käsipuhelimen päällekytkemisestä. Onnistunutta puhelua pidettiin yllä kymmenen sekuntia, minkä jälkeen puhelu katkaistiin normaaliin tapaan.



KUVA 5-2. Puhelimien asennot mittaussarjoissa. Puhelimia kallistettiin 0°, 45° ja 60° oikealle katsottuna puhelimen näppäimistöön.

Suunnat 1 - 4 määräytyivät kuvan 5-3 mukaisesti.



KUVA 5-3. Puhelimien suunnat tukiasemaan nähden.

Näissä mittaussarjoissa puhelimet olivat kiinteällä alustalla. Kaikilla puhelimilla oli mahdollisimman samankaltaiset olosuhteet sekä sääolosuhteiden että alustan paikan suhteen.

5.3. KAUPUNKIMITTAUKSET

Kaupunkimittaukset tehtiin Helsingin keskustassa. Kokeessa ajoneuvoon asennettiin kuljettajan paikan vierelle johtamatonta materiaalia oleva teline, jossa kukin puhelin oli vuorollaan. Puhelin oli suunnilleen samassa kohdassa, kuin se olisi kuljettajan vieressä istuvalla matkustajalla oikeanpuoleisella korvalla. Puhelinta oli kallistettu n. 10 astetta taaksepäin ja oikealle. Näin kaikilla puhelimilla oli mahdollisimman samankaltaiset olosuhteet jokaisessa mittauksessa. Kokeessa oli 5 kpl malleja A, B, C ja D sekä kolme kappaletta mallia E. Kaikki puhelimet oli asetettu purkukoodiseurantaan.

Aluksi puhelimella otettiin yhteys kiinteän verkon testinumeroon. Tämän jälkeen lähdettiin ajamaan ennalta suunniteltua reittiä merkiten ajon aikana referenssipaikkoja ja aikoja muistiin – etenkin puhelun katkettua. Testin päätyttyä puhelu lopetettiin normaalilla tavalla.

Mittausreitti oli suunniteltu siten, että matkalla oli peittoalueen kannalta myös hankalia paikkoja. Näin voitiin tehdä huomioita puhelinten toiminnasta käytännön olosuhteissa.

Tällä testillä voidaan selvittää tukiasemien kanavavaihtojen lukumäärät sekä puhelujen katkeamiset.

5.4. VANHENEMISMITTAUKSET

Työhön liittyen tehtiin joitakin mittauksia 3-4 vuotta vanhoille mallin F käsipuhelimille. Näistä laitteista kolme edusti samaa tyyppimerkkiä ja yksi oli hieman vanhempi kuin muut. Radioteknisesti kaikki puhelimet kuitenkin vastaavat toisiaan.

Säteilytehon mittauksilla pyrittiin selvittämään, oliko puhelimissa tapahtunut antenniliittimen kulumista tai radio-osasta johtuvaa tehonalennusta. Säteilytehomittaus tehtiin samalla periaatteella kuin uusillekin puhelimille (kappale 5.1). Lisäksi mitattiin Φ -deviaatio kolmella taajuudella sekä herkkyys SINAD(P).

Lopuksi kokeiltiin, vaikuttaako puhelimen käytönaikainen lämpeneminen lähtötehoon. Yksi edellämainituista käsipuhelimista kiinnitettiin testeriin siten, että antennista indusoituva teho mitattiin käsipuhelimen lähettimen ollessa keskisuurella tehotasolla (1W). Puhelimen käyttöjännite saatiin puhelimen omasta akusta. Puhelin oli päällä niin kauan, kunnes akku tyhjeni.

6. TULOS

6.1. MITTAUKSET

6.1.1. LABORATORIOMITTAUKSET

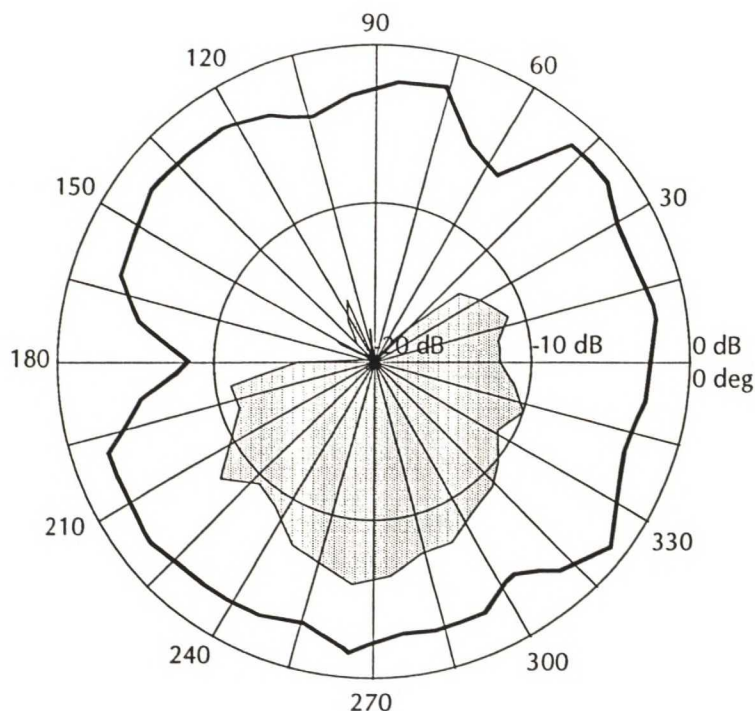
Laboratoriomittausten tulokset jokaisen yksilön osalta on esitetty liitteessä 5. Laboratoriomittausten suuntakuvioiden maksimi- ja minimikohdat ovat lukuarvoina taulukossa 6-1. Liitteessä 3 on esitetty suuntakuviot samassa tasossa mittausantennin kanssa sekä puolen metrin verran ylhäältä- ja alhaalta päin mittausantennin tasosta, mikä vastaa noin seitsemän asteen kulmaa. Mikäli on ollut mahdollista, suuntakuvio on mitattu myös antenni ala-asennossa.

TAULUKKO 6-1. Suuntakuvioiden maksimi- ja minimikohdat.

	malli A	malli B	malli C	malli D	malli E
Maksimi/dBm (0/+0.5/-0.5 m)					
• antenni sisällä	21,8/23,6/22,0	27,8/26,0/26,8	27,2/29,0/29,3	-/-	24,7/24,6/23,3
• antenni ulkona	26,3/29,9/25,3	30,6/31,5/29,2	29,2/29,0/30,1	25,7/27,5/22,1	27,0/27,0/25,3
Minimi/dBm (0/+0.5/-0.5 m)					
• antenni sisällä	15,2/15,8/12,2	0/0/7,5	20,4/26,4/19,0	-/-	15,3/16,8/7,9
• antenni ulkona	15,5/10,0/0	22,5/22,8/20,0	28,0/24,0/22,2	16,2/17,0/11,0	11,0/16,1/11,0

Suuntakuvioista havaitaan, että puhelimilla on suuntaavuutta sekä horisontaali- että vertikaalitasossa. Jo seitsemän asteen kulma pystytasossa saattaa joidenkin puhelinten kohdalla aiheuttaa huomattavan suuria eroja kuvioissa.

Selvimmät erot ovat laboratoriomittausten perusteella säteilytehoissa ja -kuvioissa. Riippuen puhelimen kulmasta ja suunnasta saattaa syntyä jopa yli 20 dB:n eroja. Mikäli antenni on kaksiasentoinen, säteilykuvio on poikkeuksetta heikompi antennin ollessa ala-asennossa. Kuvassa 6-1 on esimerkki kahden eri mallin säteilykuvioista. Kumpikin puhelin on mitattu -0,5 m mittausantennin alapuolelta antennin ollessa yläasennossa.



Kuva 6-1. Matkapuhelinten säteilykuviot saattavat erota huomattavasti toisistaan riippuen mittauskulmasta. Kuvan säteilytehot on mitattu kahdesta erityyppisestä puhelimesta siten, että molempien antennit olivat yläasennossa ja puhelimet olivat samoissa asennoissa.

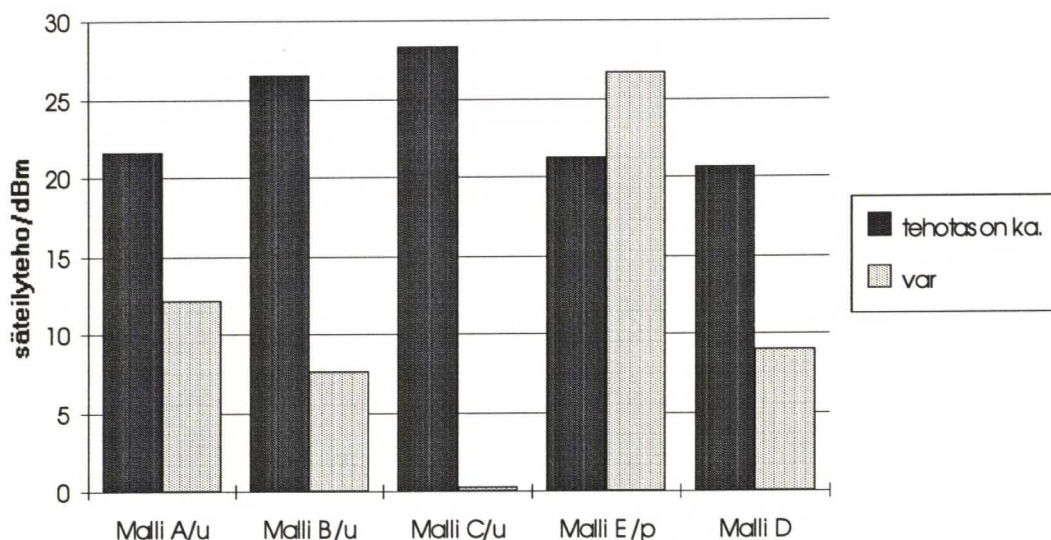
Tyyppihyväksyntämittaukset säteilykuvioille tehdään kuitenkin samassa tasossa puhelimen kanssa. Tällöin maksimi- ja minimikohtien ero saa olla korkeintaan 6 dB. [5, s. 14] Ero saattaa näiden mittauksen perusteella olla lähes 10 dB, kuitenkin ilman johtavaa maatasoa. Tyyppihyväksyntämittauksissa käytettävä johtava maataso vaikuttaa heijastavasti siten, että ko. mittauksissa ero voidaan saada alle 6 dB:n. Toisaalta tyyppihyväksyntämittauksen ohjeet ovat tässä tapauksessa hieman tulkinnanvaraiset; puhelinten säteilyteho on mitattava samalta tasolta mittausantennin kanssa, mutta puhelimen asennon ei välttämättä tarvitse olla pystysuora. Näin ollen on varaa etsiä puhelimen eri kulmilla sopivin spesifikaatiot täyttävä mittaustulos.

Näissä mittauksissa saadaan vapaan tilan säteilykuvio. Ainoastaan mallilla C maksimi- ja minimikohdan ero on yhden dB:n luokkaa. Tämä johtuneee suurelta osalta kyseisen puhelimen pitkästä antennista.

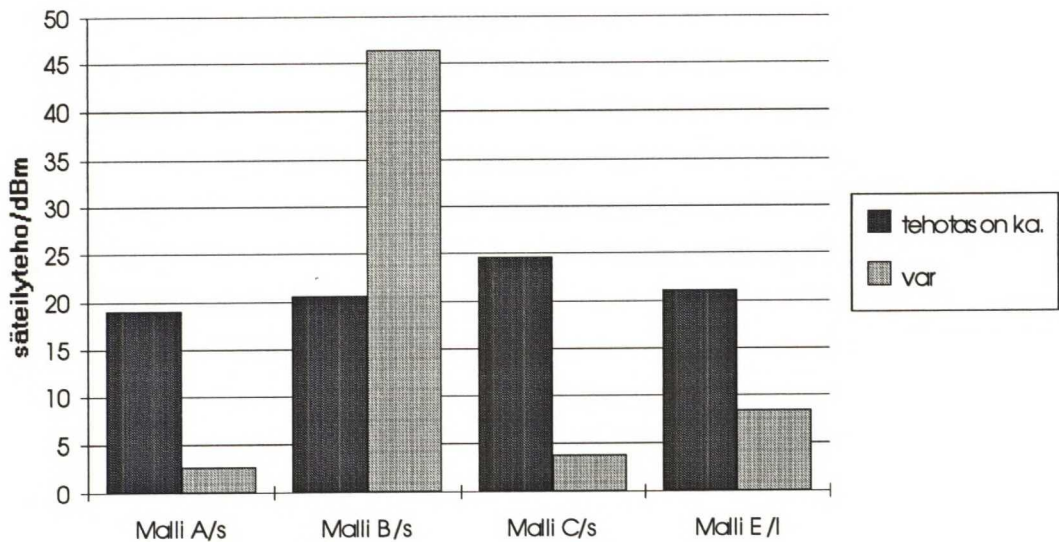
Mielenkiintoinen tulos saadaan, kun lasketaan säteilykuvioista aritmeettinen keskiarvo ja varianssi. Tulos antaa selvän kuvan siitä, kuinka puhelin toimii käytännön olosuhteissa – spesifikaatioiden rajat eivät välttämättä kerro koko totuutta. Kuvassa 6-2 on keskiarvot laskettu suuntakuvioiden arvoista, jotka on valittu noin 10 asteen välein (38 arvoa/kuvio). Tässä tapauksessa puhelimet olivat pystyasennossa samassa tasossa mittausantennin kanssa. Kuvassa 6-3 on sama tulos puhelinten antennien ollessa alasuennossa. Tulokset on esitetty numeroarvoina taulukossa 6-2 .

Mitä pienempi tehotason varianssi tai keskihajonta on, sitä tasaisempi on matkapuhelimen suuntakuvio. Kuvasta 6-2 havaitaan, että malli C on tässä suhteessa selvästi paras. Säteilyteho on lähes 30 dBm ja varianssi olematon. Mallin B keskiarvo on vajaa 27 dBm, mutta kuvio ei ole yhtä tasainen kuin mallilla C. Antenni alasuennossa mallin B kuvio on havaittavan epätasainen.

Säteilytehot



KUVA 6-2. Matkapuhelinten säteilytehojen (1 W eli 30 dBm) keskiarvot ja varianssit, kun puhelinten antennit olivat yläasennossa.



KUVA 6-3. Matkapuhelinten säteilytehojen (1 W eli 30 dBm) keskiarvot ja varianssit, kun puhelinten antennit olivat ala-asennossa. Mallin D antenni on kiinteä, joten sen tulosta ei tässä ole.

TAULUKKO 6-2. Säteilytehojen keskiarvot ja varianssit lukuarvoina (mittaukset vaakatasolta tehotason ollessa 1 W eli 30 dBm). Mallissa E käytettiin pitkää ja lyhyttä antennia.

		malli A	malli B	malli C	malli D	malli E
Antenni yläasennossa	tehotason \bar{x}	21.6	26.6	28.3	20.6	21.2
	tehotason σ^2	12.2	7.7	0.2	9.0	26.7
	tehotason σ	3.5	2.8	0.4	3.0	5.2
Antenni ala-asennossa	tehotason \bar{x}	19.1	20.6	24.5	-	21.1
	tehotason σ^2	2.7	46.4	3.8	-	8.4
	tehotason σ	1.6	6.8	1.9	-	2.9

Matkapuhelimen antennin on tarkoitus olla yläasennossa puhelun aikana. Tyyppihyväksyntämittauksia ei näin ollen tehdä lainkaan antenni ala-asennossaan. Kuitenkin lepotilassa antennia pidetään pääasiallisesti ala-asennossa, jotta puhelin mahtuisi pienempään tilaan. Matkapuhelimen ollessa B-tilaajana normaalia pienempi säteilyteho antenni ala-asennossa saattaa olla ongelma.

Testin huonoimman ja parhaimman puhelimen säteilytehon keskiarvojen ero antenni yläasennossa on taulukon 6-2 mukaan 7,7 dB, mikä alkaa jo olla merkittävää. Antennit ala-asennoissa keskinäiset säteilytehojen keskiarvojen erot ovat hiukan pienempiä; parhaan ja heikoimman arvon erotus on 5,4 dB.

Taulukossa 6-3 on esitetty muiden laboratoriomittausten keskiarvotulokset malleittain sekä yksilöiden väliset varianssit.

Taulukko 6-3. Laboratoriotulosten keskiarvot ja varianssit.

			A	var	B	var	C	var	D	var	E	var	SPES.
Teho	1 W	dBm	28.0	0.0	28.9	0.0	28.0	0.2	28.7	0.2	27.5	0.0	30 ± 3
	0,1 W	dBm	19.6	0.1	19.5	0.0	19.5	0.4	20.8	0.1	20.1	0.0	20 ± 3
Taajuusvirhe		Hz	200	3330	100	50	140	2200	10	50	10	200	< 1000
Dev. +94 dB		kHz	2.3	0.0	2.6	0.0	2.9	0.1	2.5	0.0	-	-	-
FFSK-dev	0	kHz	4.2	0.0	4.1	0.0	3.9	0.0	4.1	0.0	3.9	0.0	< 4.2
	1	kHz	2.9	0.0	2.9	0.0	2.8	0.0	3.0	0.0	2.7	0.0	< 2.8
Fii-dev.	3945 Hz	dB	0.4	0.0	0.5	0.0	0.2	0.0	0.5	0.2	0.2	0.0	< 1.4
	4000 Hz	dB	0.1	0.0	0.3	0.0	0.5	0.1	0.5	0.2	0.3	0.0	< 1.3
	4055 Hz	dB	0.1	0.0	0.4	0.0	0.2	0.1	0.7	0.2	0.3	0.0	< 1.2
Herkkyys	SINAD(P)	dB	25.9	0.2	27.0	1.0	25.0	0.0	25.0	0.3	27.5	0.0	> 20

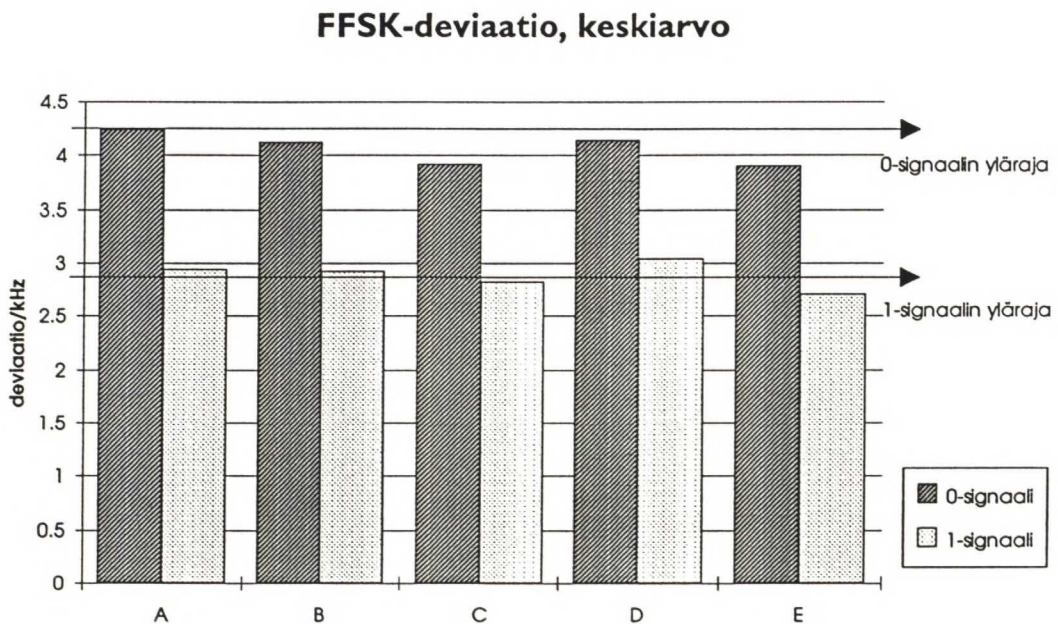
Taulukosta havaitaan, että eroja samojen mallien välillä on hyvin vähän kaikissa mittauksissa.

Tehotasot ovat kaikissa mitatuissa laitteissa spesifikaatioiden mukaisella tasolla. Suuri tehotaso (30 ± 3 dBm) eli 1 W on näissä puhelimissa lähempänä ala- kuin ylärajaa: vaihteluväli on 27,5 - 28,9 dBm. Pieni tehotaso vaihtelee välillä 19,5 - 20,8 eli hiukan 0,1 W:n molemmin puolin. Tämä mittaus ei näin ollen paljasta taulukon 6-2 tavoin puhelinten välisiä eroja.

Taajuusvirhe alkaisi olla merkittävä vasta spesifikaatioiden rajoilla (1000 Hz), mutta kaikki puhelimet ovat reilulla marginaalilla rajojen sisällä. Varianssi on havaittava, mutta keskihajonta σ on pahimmassakin tapauksessa lukuarvona vain 58.

Deviaatio painotettuna +94 dB kuulokynnyksen yli antaa kuvan lähinnä puhelimen äänen laadusta. Yli 3 kHz:n deviaatio alkaa olla havaittava, joten tässäkin suhteessa ei ongelmia ilmene.

FFSK-deviaatio mitattiin sekä 1200 Hz:n että 1800 Hz:n signaalilla (0- ja 1-taso). Spesifikaatioiden määrittämät rajat ovat maksimissaan 4,2 kHz (0-taso) ja 3,8 kHz (1-taso). Kuvassa 6-4 on havainnollistettu tilannetta. Kuvasta ilmenee, että kolmella mallilla 1-tason raja ylittyy hiukan. Tämä ei kuitenkaan ole merkittävää. [12] Mikäli FFSK-deviaatio olisi tarpeeksi suuri, vaikuttaisi se haitallisesti signaloinnin onnistumiseen.



KUVA 6-4. FFSK-deviaatiot jokaisen mallin keskiarvoina.

Φ -deviaatio mitattiin ala- ja ylärajalla sekä keskitajuudella (3945 - 4055 Hz). Spesifikaatioiden mukaan rajat ovat < 1,4..1,2 dBm, minkä kaikki puhelimet täyttävät reilusti. Mikäli Φ -deviaatio olisi tarpeeksi suuri, aiheutuisi siitä normaalia herkemmin SCIP-yrityksiä, koska tukiaseman vaihto tehdään Φ -signaalin mittauksen perusteella.

Herkkyys mitattiin SINAD(P)-painotettuna (Signal To Noise And Distortion, signaalikohinasärösuhde psfometrisesti painotettuna). Spesifikaatioiden mukaan herkkyyden pitää olla parempi kuin 20 dB. Tämän vaatimuksen kaikki puhelimet täyttävät selvästi; huonoin arvo on 5 dB rajaa parempi. Lisäksi eri tyyppien väliset erot ovat melko pieniä. Parhaan ja huonoimman arvon erotus on 2,5 dB.

6.1.2. MITTAUKSET MAASTOSSA

Epäonnistuneista puheluyrityksistä eri suunnissa voi hahmotella puhelimen suuntaavuutta sekä säteilytehoja.

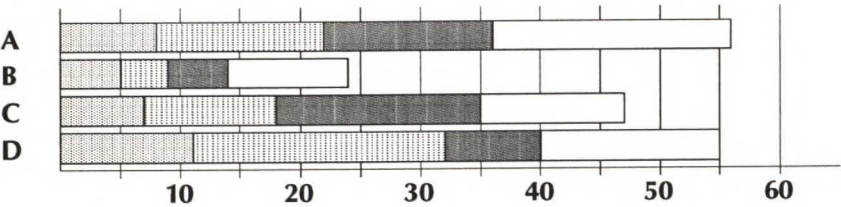
Puheluyritykset on tehty siten, että havainnoitsija on ollut noin kahden metrin päässä telineessä olevasta puhelimesta. Tämä johtuu siitä, että laboratoriossa mitatuissa suuntakuvioissa ei ole myöskään otettu ihmisen vaikutusta huomioon.

Kuvassa 6-5 on esitetty epäonnistuneet puheluyritykset suunnassa MS → BS. Kuvasta havaitaan, että puhelinten kallistuskulma vaikuttaa yhteydenmuodostukseen. Malli C on varsin hyvä pystyasennossa, mutta mitä enemmän puhelinta kallistetaan, sitä varmemmin yhteys menetetään. Mallilla B on havaittavissa samankaltainen ilmiö, mutta siitä huolimatta se on tässä suhteessa testin varmin puhelin. Malli D on varsin tasainen joka kulmalla. Malli A sen sijaan saa yhteyden sitä varmemmin, mitä suuremmaksi kallistuskulmaa lisätään.

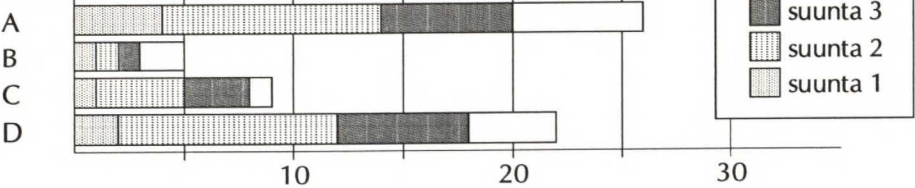
Kuvassa 6-6 on verrattu tyyppien keskinäisiä epäonnistumia. Kuvasta havaitaan, että mallilla B ilmenee kokonaistilanteessa vähiten ongelmia puhelujen kytkeytymisessä. Muiden puhelinten osalta tilanne on varsin tasainen. Malleilla A ja C on tulosten mukaan eniten suuntaavuutta vertikaalitasossa. Laboratoriomittaksissa tutkittiin maksimissaan noin 7 asteen kulmanmuutoksia, joten kyseisissä mittauksissa tämä ilmiö ei tullut selkeästi esille.

Suunnassa BS → MS saatiin epäonnistumisia kuvan 6-7 mukaisesti. Myös tässä mittauksessa malli B selvisi parhaiten. Mallin D tulos on havaittavasti muita huonompi.

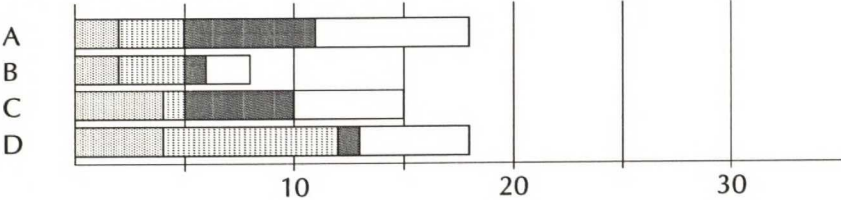
Epäonnistumiset yhteensä



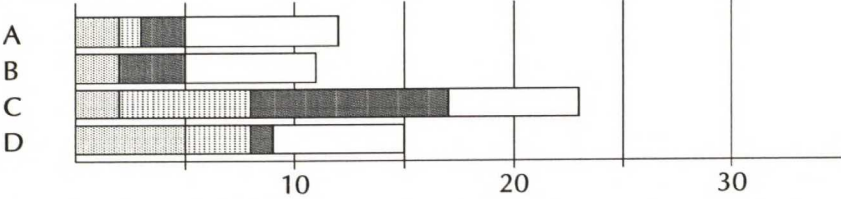
Epäonnistumiset kulmalla 0 astetta



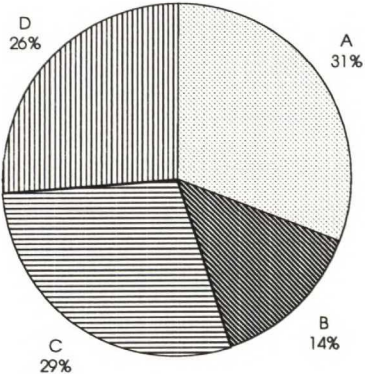
Epäonnistumiset kulmalla 45 astetta



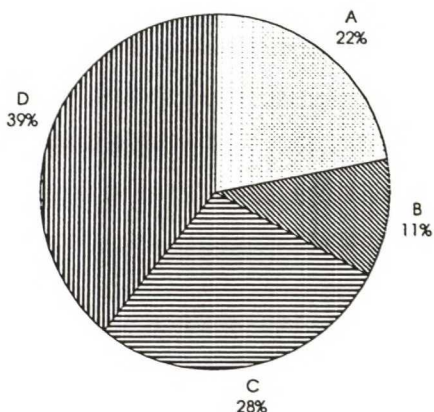
Epäonnistumiset kulmalla 60 astetta



KUVA 6-5. Epäonnistuneet puheluyritykset suunnassa MS → BS kaikilla puhelinten kallistuskulmilla laskettuna tyypeittäin yhteen.



KUVA 6-6. Epäonnistuneet puheluyritykset yhteensä suunnassa MS → BS.



Kuva 6-7. Epäonnistumiset suunnassa BS → MS.

6.1.3. MITTAUKSET KAUPUNGISSA

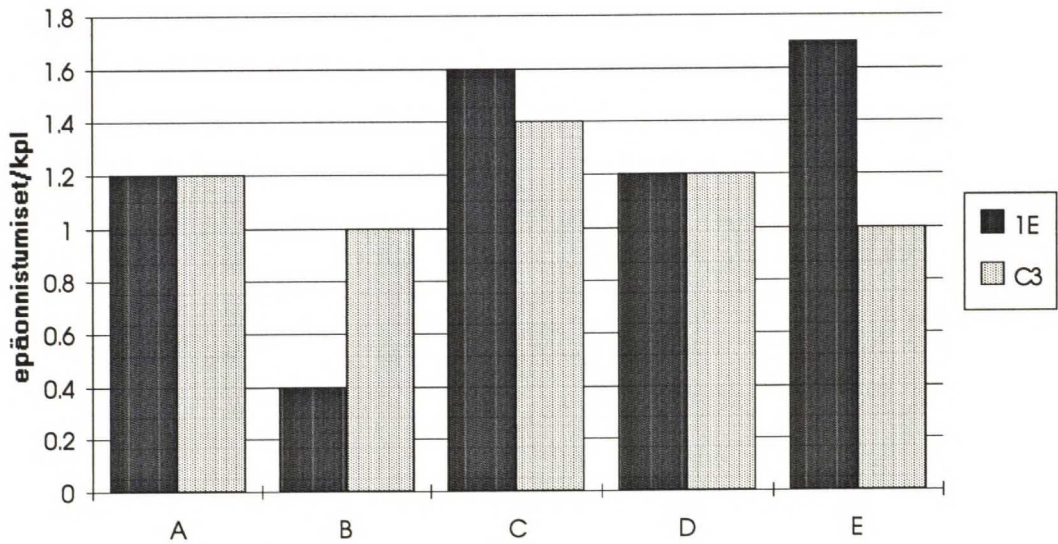
Taulukossa 6-4 on esitetty tukiasemien vaihdot mittausreitillä kunkin mallin keskiarvona.

TAULUKKO 6-4. SCIP-määrät mittausreitillä. Tulokset ovat kunkin mallin keskiarvoja.

	A	B	C	D	E
SCIP	38.6	36	33.5	35.25	41
%	21	20	18	19	22

Taulukosta havaitaan, että mallilla E on tullut eniten kanavanvaihtoja - noin 4 prosenttiyksikköä enemmän kuin mallilla C, jolla vaihtoja on vähiten. Muilla kanavanvaihtojen lukumäärä on suurin piirtein näiden kahden ääritapauksen puolivälissä. Erot ovat kuitenkin mitättömän pieniä, kun otetaan huomioon kaikki häiriötekijät, kuten verkon kuormitus ja kenttää diffusoivat liikkuvat ajoneuvot.

Häiriöitä oli puhelujen aikana jonkin verran. Mittauksissa ilmenivät koodit "tason 2 hälytys tukiasemalta" (1E) tai "MS:ltä ei saada identiteettiä uudella kanavalla" (C3) tavanomaisen koodin "onnistunut kanavanvaihto" (08) lisäksi. Kuvassa 6-8 on esitetty jokaisen mallin häiriötapausten keskiarvo.



KUVA 6-8. Epäonnistumisten (tapaukset 1E ja C3) keskiarvo malleittain.

1E-tapaus ilmenee esimerkiksi silloin, kun MS on ajautunut kuuluvuusalueen rajalle, jolloin keskus katkaisee puhelun. Ongelmana näissä mittauksissa on se, että kenttää voisi periaatteessa olla, mutta viereisen tukiaseman kaikki kanavat ovat käytössä. Täysin luotettavaa tulosta ei näin ollen voi saada.

C3 ilmenee silloin, kun MS on vaihtamassa tukiasemaa, mutta ei saa lähetetyksi tietoa tapahtumasta vaihdettavalle tukiasemalle (teho ei riitä tms.). Tästä voidaan päätellä matkapuhelimen hyvyys (säteilytehon riittävyys, suuntakuvion tasaisuus) olettaen, että verkon kuormitus ei vaikuta asiaan.

Näiden mittausten perusteella C3 saadaan useimmin mallilla C. Parhaat mallit näiden tulosten perusteella ovat B ja E, joskin erot muihin puhelimiin ovat hyvin pieniä.

1E-tapauksia ilmeni eniten mallilla E. Kun tarkastellaan tämän mallin suuntakuviota liitteestä 3/6 ja kuvion keskihajontaa taulukosta 6-2, havaitaan, että suuntakuviota on melko epätasainen. Etenkin tason -0,5 m säteilykuviota on erityisen heikko. Säteilytehoilla on myös selkeät minimikohdat, mutta säteilykuviota on kuitenkin jokaisella mittauskulmalla vähemmän epätasainen kuin mallilla D. Mallin B säteilykuviota on antenni yläasennossa niin hyvä, että korrelaatio 1E-tapausten kanssa on

selvä. Sen sijaan mallin C virhetilanteet eivät selity säteilykuviolla, joka on kaikissa laboratoriomittauksissa hyvä. Maastomittauksissa kuitenkin havaittiin, että puhelimella on vertikaalitasossa suuntaavuutta. Mallin A säteilykuvio on selvästi heikompi kuin mallin C, mutta tästä huolimatta 1E-tapauksia on mallilla A vähemmän kuin mallilla C. Maastomittauksissa havaittiin, että malli A ottaa sitä varmemmin yhteyden, mitä suurempi kallistuskulma on (välillä 0..60 astetta). Signaalin kulkeutuminen kattotasolta diffraktoitumisen seurauksena selittää ilmiön.

Näissä mittauksissa saattaa verkon vaikutus olla ajoittain merkittävä. Taulukossa 6-5 on esitetty virhetilanteiden varianssit.

TAULUKKO 6-5. 1E- ja C3-tapausten varianssit ja keskihajonnat.

koodi	A		B		C		D		E	
	σ^2	σ	σ^2	σ	σ^2	σ	σ^2	σ	σ^2	σ
1E	0,7	0,8	0,3	0,5	1,3	1,1	1,7	1,3	0,3	0,5
C3	0,2	0,4	1,5	1,2	0,8	0,9	1,7	1,3	3,0	1,7

Taulukosta havaitaan, että 1E-tapauksissa mallilla D ja C on suurehko hajonta. C3-tapauksissa malleilla D, B ja E on myös suhteellisen paljon hajontaa. Tuloksesta voidaan päätellä, että verkon kuormitus lieenee vaikuttanut mittauksiin. Kaupunkimittaus ei näin ollen ole täysin luotettava, mutta antaa vihjeen käsipuhelinten käyttäytymisestä niille varsin tyypillisissä käyttöolosuhteissa.

Kaiken kaikkiaan tässä mittauksessa on havaittavissa, että puhelinten keskinäiset erot saattavat olla merkittäviä myös kaupunkiolosuhteissa johtuen signaalien etenemisestä kattotasolta.

6.1.4. KÄYTETTYJEN PUHELINTEN TESTI

Käytettyjen puhelinten testistä on kenties vaikeinta tehdä luotettavia johtopäätöksiä, koska puhelinten kunnossapysyminen riippuu oleellisesti käyttöolosuhteista ja tottumuksista. Lisäksi puhelinten määrä, vain 4 kpl, saattaa antaa vääristyneen kuvan laitekannan kunnosta. Tässä on kuitenkin hyvin yleisellä tasolla tarkasteltu, onko muutoksia yleensä lainkaan syntynyt.

Ongelmana tässä mittauksessa oli lisäksi se, että mitatuille puhelimille ei saatu käyttämättömiä referenssipuhelimia. Näin ollen on vaikeaa päätellä, onko muutoksia tapahtunut. Tuloksia voidaan kuitenkin verrata spesifikaatioiden rajoihin.

Puhelimia oli käytetty puheaikalaskurin mukaan 5000-7000 minuuttia lukuun ottamatta yhtä puhelinta, jota oli käytetty noin 15 000 minuuttia. Puhelimet vastaavat siis puheaikojen perusteella arviolta 5 - 10 vuotta vanhoja laitteita.

Tulokset on esitetty taulukossa 6-6. Taulukosta havaitaan, että kaikki puhelimet täyttävät spesifikaatioiden vaatimukset.

Taulukko 6-6. Käytettyjen puhelinten mittaukset.

puhelin	teho 1W /dBm	teho 0,1W /dBm	SINAD(P)	Φ -dev 3945 Hz	Φ -dev 4000 Hz	Φ -dev 4055 Hz
F1	28,3	20	21	0,5	0,2	0,5
F2	29,2	20,8	25	0,7	0,5	0,8
F3	29,4	20,4	25	1,1	0,7	1,1
F4	31,4	21,1	20,5	0,7	0,3	0,7
Spesif.	30 ± 3	20 ± 3	> 20	$< 1,4$	$< 1,3$	$< 1,2$

Liitteessä 4 on esitetty käytettyjen puhelinten säteilykuviot 1 W:n tehotasolla. Kaikkien puhelinten tulokset ovat lähes identtiset. Koska säteilytehokin näyttäisi olevan kohtuullisen korkea, on syytä olettaa, ettei vanhenemisilmiöitä ole mainittavasti tapahtunut.

Lämpenemismittauksista saaduissa tuloksissa ei havaittu mitään huolestuttavaa. Testattavan puhelimen akku kesti 47 minuuttia, jona aikana puhelin lämpeni havaittavasti. Säteilyteho oli tehomittarin mukaan 0,56 W koko mittauksen ajan, joten lämpötila ei vaikuttanut säteilytehoon. Tässä säteilytehon mittauksessa asennettiin puhelimen viereen mittausantenni, johon teho indusoitui. Näin ollen tulos ei absoluuttiarvona ole oikea, mutta säteilytehon muutoksia tällä tavoin voidaan havainnoida.

Mitään huolestuttavia kulumisilmiöitä ei ole tapahtunut millekään mitatulle puhelimelle. Erityisesti antennisarana oli kiinnostava kohde. Koska säteilyteho oli tulosten perusteella varsin hyvä, purettiin yksi puhelimista ja antennisaranaa tutkittiin silmämääräisesti. Liitoskohta oli hyvässä kunnossa; jälkiä likaantumista tai hapettumisesta ei havaittu.

Mitatut 4 puhelinta ovat kaikki samoja tyyppisiä. Tutkimuksesta saisi hyvinkin laajan, jos se ulotettaisiin kaikkiin yleisimpiin käytettyihin puhelinmerkkeihin. Tämä ei kuitenkaan ole tässä työssä tarkoituksenmukaista. Vanhenemisilmiöt voivat kyllä antaa aihetta jatkotutkimuksiin.

6.2. PUHELINTEN LUOKITTELU

6.2.1. LUOKITUSPERUSTEET

Edellä olevien mittaustulosten perusteella voidaan puhelinten keskinäinen "hyvyys" selvittää. Koska mitatut puhelimet ovat markkinaosuuksiltaan hallitsevia, voidaan karkea arvio nykyisten puhelinten laadusta tehdä. Malli E ilmestyi vuonna 1993, mutta kyseisen merkin markkinat oletettavasti kasvavat huomattavasti.

Jos laboratoriomittauksille annetaan 60 %:n painoarvo ja käytännön kokeille 40 %:n painoarvo sekä yksittäisille mittauksille painoarvot tärkeyden mukaisesti, voidaan laatia hyvyystaulukko. Käytännön kokeille on syytä antaa pienempi painoarvo niiden suuremman virhemarginaalin vuoksi.

Jokainen ominaisuus on arvosteltu pistein 1..5, missä 1 on huonoin ja 5 paras tulos. Liitteessä 2 on esitetty arvosteluperiaatteet kunkin kohdan osalta. Pisteytyksen tarkoituksena on selvittää mitattujen puhelintyyppien eroavaisuudet radioverkon kannalta.

6.2.2. LUOKITUS

Taulukossa 6-7 on esitetty laboratoriomittauksista annetut painotetut pisteet, ja taulukossa 6-8 ovat käytännön kokeissa saadut tulokset pisteytettynä.

TAULUKKO 6-7. Puhelinten arvostelu laboratoriomittausten perusteella.

	Ominaisuus	painotus	A	B	C	D	E
Laboratorio- mittaukset	säteilyteho	0.30	1	2	3	1	1
	säteilytehon var	0.25	2	3	5	3	1
	tehotaso 1W	0.10	2	3	2	3	1
	tehotaso 0,1 W	0.10	4	4	4	5	5
	taajuusvirhe	0.05	5	5	5	5	5
	deviaatio + 94	0.05	5	5	5	5	5
	FFSK-dev	0.05	4	4	5	3	5
	Φ -deviaatio	0.05	5	5	5	5	5
	herkkyys SINAD(P)	0.05	5	5	5	5	5
Yhteensä		1.00	2.60	3.25	4.00	3.00	2.40

TAULUKKO 6-8. Puhelinten arvostelu käytännön kokeiden pohjalta.

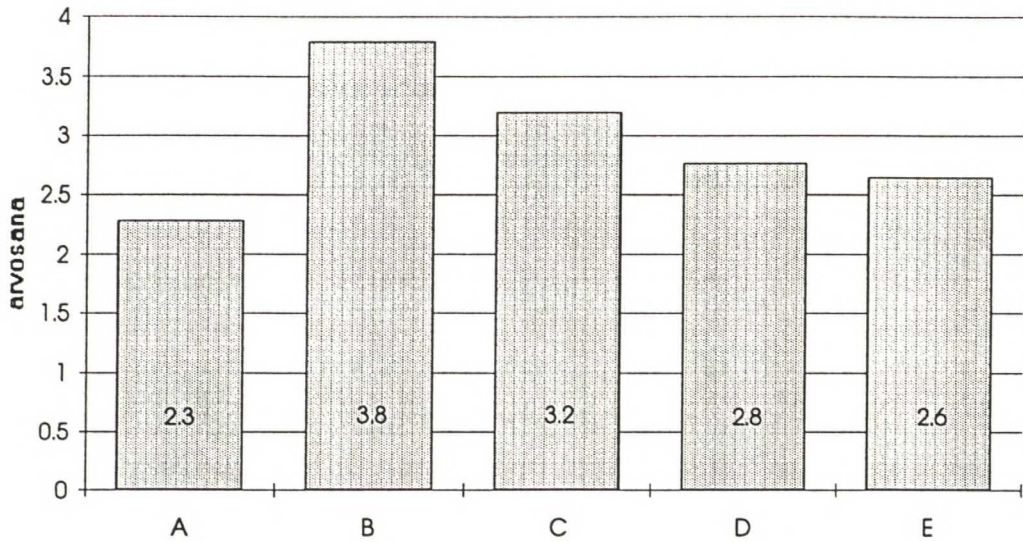
Käytännön kokeet	maasto	puhelujen onnistuminen	0.60	1	5	2	2	.*
	kaupunki	puhelujen onnistuminen	0.40	3	4	2	3	3
Yhteensä			1.00	1.80	4.60	2.00	2.40	3.00

* Mallia ei testattu maastomittauksissa, joten kaupunkimittausten painoarvo on 100 %.

Kuvassa 6-9 ovat tulokset yhdistettyinä siten, että laboratoriomittauksien painoarvo on 60 % ja käytännön kokeiden painoarvo 40 %. Tämä johtuu siitä, että käytännön kokeista saatujen tulosten virhemarginaali on suurempi kuin laboratoriomittausten.

Taulukoista voidaan havaita, että säteilyteho ja suuntakuvion epätasaisuus (säteilytehon varianssi) ovat kaikkein ratkaisevimmat tekijät radioverkon kannalta. Muut laboratoriomittausten tulosten erot ovat melko mitättömiä.

Säteilytehoa voitaisiin myös tutkia tilastollisen todennäköisyyden avulla; puhelimen säteilykuvion maksimikohta osoittaa tukiasemaa kohti tietyllä todennäköisyydellä riippuen säteilykuvion muodosta. Verkon suunnittelun kannalta puhelimen keskimääräinen säteilyteho on kuitenkin luonnollinen lähtökohta.



KUVA 6-9. Testattujen puhelinten keskinäinen "hyvyys" työssä tehtyjen mittausten pohjalta graafisesti esitettyinä.

Keskimääräistä säteilytehoa on järkevää tutkia vaakatason säteilykuvioista. Voidaan olettaa, että käsipuhelimen antennin suuntakuvio on sama kuin puolen aallon dipolilla ja antennivahvistus 2,1 dBi. Teoriassa ei siis puhelimen kohtuullisilla, pienemmillä kuin 45° olevilla kallistuskulmilla olisi suurta merkitystä säteilykuvion vuoksi. [11] Diplomityön mittauksista havaitaan, että kallistuskulmat saattavat joidenkin puhelinten kohdalla merkitä havaittavaa muutosta, mutta vaakatason tutkiminen antaa kuitenkin viitteen keskimääräisen säteilytehon tutkimiselle.

Lähtökohtana voidaan siis pitää sitä, että puhelinten todellinen keskimääräinen säteilyteho 1 W:n tehotasolla on mitatuilla puhelimilla välillä 20,6 - 28,3 dBm. Asiaa voidaan tutkia painottaen säteilytehoa kunkin puhelimen markkinaosuuden mukaan. Mitattujen puhelintyyppien osuus Suomen laitekannasta, kuten kappaleessa 4.1. on kerrottu oli 31.3.1993 kaikkiaan 28,2 %, joten näiden puhelinten perusteella saadaan varsin kattava kuva nykytilanteesta. Markkinaosuudet ja säteilytehojen keskiarvot on esitetty taulukossa 6-9. Mallia E ei tuolloin vielä ollut markkinoilla.

TAULUKKO 6-9. Käsipuhelinten markkinaosuudet ja säteilytehojen keskiarvot. Tilanne 31.3.1993.

malli	osuus yhteensä käsipuhelimista / %	keskinäinen osuus / % (painoarvo)	säteilytehon \bar{x}
A	17,6	62,4	21,6
B	5,7	20,2	26,6
C	2,2	7,8	28,3
D	2,7	9,6	20,6
E	0	0	21,2

Taulukon perusteella keskinäisillä markkinaosuuksilla painotettu säteilytehon keskiarvo käsipuhelimilla on absoluuttiarvona 23,0 dBm. Käsipuhelimen pääteasteen iso tehotaso on ihannetapauksessa 30 dBm (P_{pa}). Pääteasteen teho saadaan tässä tapauksessa kaavasta

$$P_{pa} = P_m - P_v, \quad (6.1)$$

missä P_m on mitattu säteilytehon keskiarvo ja P_v on termi, jolla saadaan vahvistus verrattuna pääteasteen tehoon. Termiä P_v voidaan kutsua säteilytehon vahvistukseksi, johon kuuluu mm. antennivahvistus. Kaavasta ratkaisemalla saadaan säteilytehon vahvistukseksi -7 dB. Koska puolen aallon dipolin vahvistus verrattuna isotrooppiseen säteilijään on 2,1 dB, voidaan päätellä, että mitattujen käsipuhelinten keskimääräinen säteilyvahvistus on noin -4,9 dBi. Puhelinten säteilytehon vahvistus on välillä -7,3 ... +0,4 dBi.

6.3. VAIKUTUS NMT 900 -PARAMETREIHIN

Luotettavimmat mittaustulokset saadaan laboratoriomittauksista, joskin käytännön mittaukset tukevat laboratoriossa saatuja tuloksia. Koska mittaustulosten perusteella NMT 900 -puhelinkannassa on tapahtunut laadullisia muutoksia, voidaan esittää joitakin uusia parametrisuosituksia kompensoimaan tilannetta radioverkon kannalta.

Koska NMT 900 -verkossa on selvästi eritasoisia päätelaitteita pienitehoisista käsipuhelimista autopuhelmiin, joilla on hyvä antenni, on syytä miettiä, millainen

laatutaso ylipäänsä halutaan asiakkaille tarjota. Mikäli heikkotasoinen laite toimii myös huonoissa olosuhteissa, saattaa hyvä laite joissakin tapauksissa aiheuttaa jo häiriöitä verkkoon. Näin ollen parametri- ja muut muutokset on ainakin osittain syytä painottaa alueellisesti ja mahdollisesti ajallisesti kappaleen 4 perusteella. Mahdollisten parametrimuutosten vaikutuksia on myös syytä seurata huolellisesti seurantaraporteista, jotta tilanne ei pahentuisi.

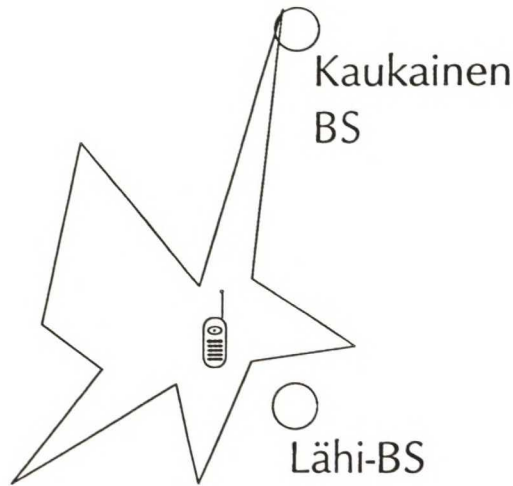
Lähtökohtana on se tosiasia, että NMT 900 -verkon kasvu on keskittynyt erityisesti suuriin kaupunkeihin. Tämän vuoksi parametrimuutokset on painotettava näille alueille. Tosin ei ole mitään syytä unohtaa myöskään hiljaisempia alueita.

6.3.1. YLEISKATSAUS PARAMETREIHIN

Φ -signaalin kannalta matkapuhelimen herkkyydellä ei ole merkitystä, koska tukiasema mittaa muuttumatonta Φ -signaalia. Toisin sanoen matkapuhelimen vastaanottama valvontasignaali lähetetään vahvistamattomana takaisin tukiasemalle. Säteilykuvio lienee tässä tapauksessa kaikkein ratkaisevin tekijä.

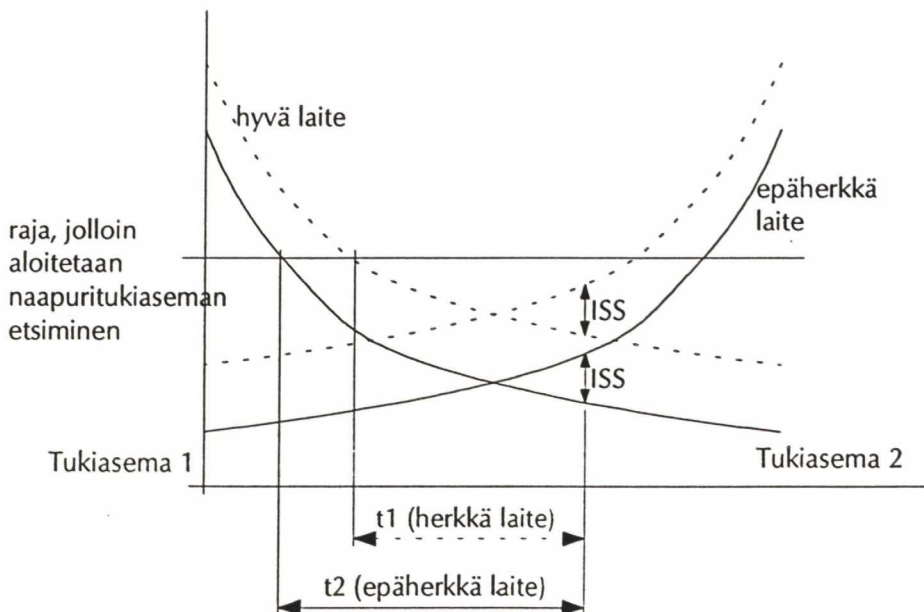
Mikäli puhelimen *säteilykuvio* on kovin epätasainen, saattaa HMS saada yhteydenmuodostuksessa kanavan turhan kaukaiselta tukiasemalta säteilykuvion piikin takia (kuva 6-10). Puhelun alussa tehtävän kentänvoimakkuusmittauksen perusteella suoritetaan matkapuhelimen tehonlasku. Samoin mittaustulosta verrataan aina LLS-parametrin arvoon, ja mikäli tulos on alle parametrin, yritetään kanavanvaihtoa. Tässä puhelunmuodostukseen kuuluvassa mittauksessa ei vaadita L_H -parametrin alittumista. Jotta LLS-parametri olisi järkevällä tasolla, pitää sen olla samaa suuruusluokkaa kuin L_H -parametrin arvo. Mikäli LLS-arvo on liian suuri, johtaa se joissakin tapauksissa tarpeettomaan kanavanvaihtoon puhelun alussa, ja aiheuttaa kiusallisen puhekatkon asiakkaan lausussa nimeään.

Ne laitteet, joilla on epätasainen suuntakuvio, saattavat aiheuttaa turhan kanavanvaihdon. Lisäksi epäherkkä laite saa herkkää laitetta helpommin hälytyksen, minkä johdosta se voi yrittää kanavanvaihtoa myös puhelun alussa.



KUVA 6-10. Säteilykuvion piikin takia HMS saattaa saada kanavan turhan kaukaiselta tukiasemalta.

Epäherkkä puhelin saa herkkää puhelinta nopeammin aikaan kanavanvaihtomittaukset. Kuitenkin ISS-parametrin vaatima ero havaitaan yhtä aikaa herkän laitteen kanssa (kuva 6-11). Näin ollen mittausprosessi kestää herkällä laitteella vähemmän aikaa kuin epäherkällä laitteella, mikäli naapurina on vain yksi tukiasema.



KUVA 6-11. Herkän ja epäherkän käsipuhelimen ero. Epäherkkä laite mittaa kauemmin naapuritukiasemaa, koska puhelin saa herkkää laitetta nopeammin hälytyksen.

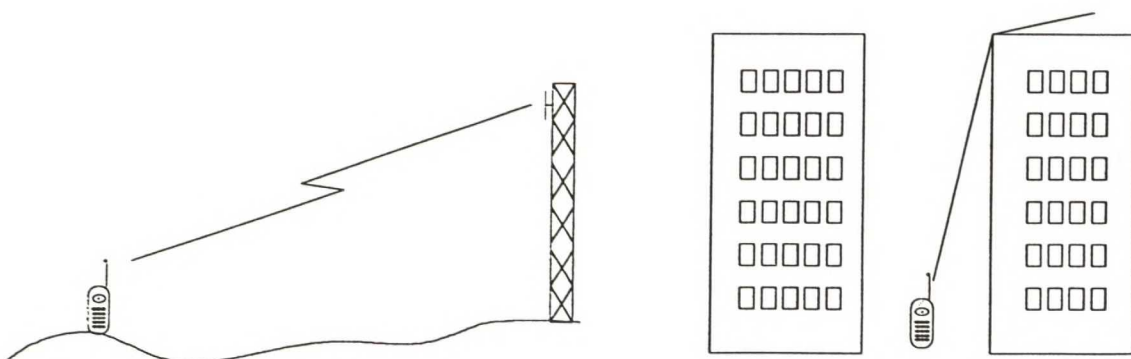
Epäherkkä laite on siinä mielessä jopa herkkää laitetta parempi, että se menettää huonon kanavan nopeammin. Tosin käyttäjän kannalta epäherkkä laite on muutoin epämiellyttävä.

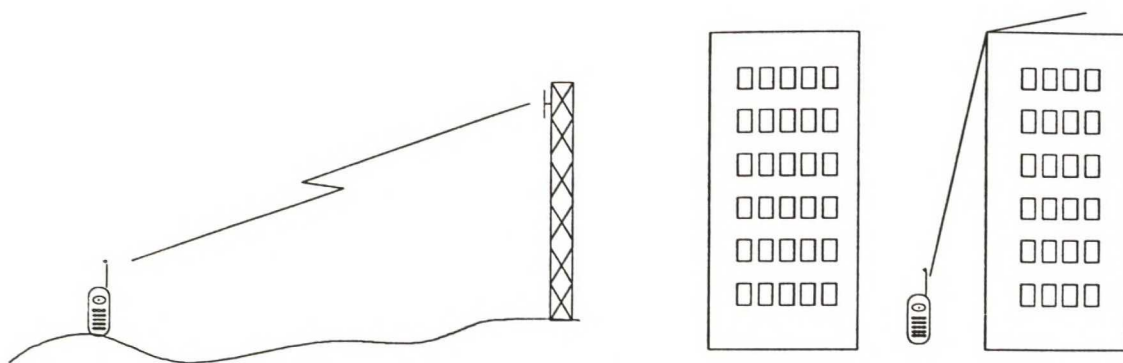
Jos herkkä laite etenevät liian kauaksi kotitukiasemasta, saattaa tästä aiheutua häiriöitä verkkoon. LLS-parametrin säädöllä voidaan vaikuttaa asiaan. Kaupungissa ilmeneviä samankanavan häiriöitä voidaan hiukan vähentää nostamalla LLS-parametrin arvoa. Toimenpiteen seurauksena hyvät laitteet vaihtavat kanavaa heti puhelun alussa. Maaseudulla ongelma on vähäisempi, koska toistumakuvio on laajemmalla alueella.

Suuntakuvion muoto vaikuttaa eri tavalla maaseutuolosuhteissa ja kaupungeissa. Tasaisessa maastossa, missä esteet ovat pääasiassa puita, signaali etenee suurin piirtein maaston myötäisesti. Sitä vastoin kaupunkiolosuhteissa signaali etenee diffraktoitumisen ansiosta myös talojen kattotasolta puhelimen tasalle (kuva 6-12). Kaupunkialueella on myös useassa paikassa mikrosoluja, joiden antenni on kiinnitetty rakennuksen seinään muutaman metrin korkeudelle. Tällöin signaali etenee matkapuhelimeen lähes vaakasuoraan. [8, 19]

Antennien asennus seiniin yleistyy kaupungeissa lähivuosina, kun solut muuttuvat mikrosoluiksi. Tukiasematiheys kasvaa tällöin niin suureksi, että tarvittavaa määrää mastoja ei voida rakentaa. Toisena syynä seinäasennuksille on käsipuhelinten yleistymisen, jolloin rakennusten sisätiloihin vaadittava palvelupeitto paranee.

Kaupunkimittausten tuloksista voidaan päätellä, että säteilykuvio on kaupunkiololoissa merkittävä myös vertikaalitasossa. Erityisesti mallin C tuloksista havaitaan, että vaikka säteilykuvio vaakatasossa on hyvä, on puhelimella ongelmia signaalin edetessä kattotasolta. Sama ongelma oli havaittavissa maastomittauksissa; mitä suurempi puhelimen kulma pystytasoon nähden oli, sitä epävarmemmin yhteys saatiin.

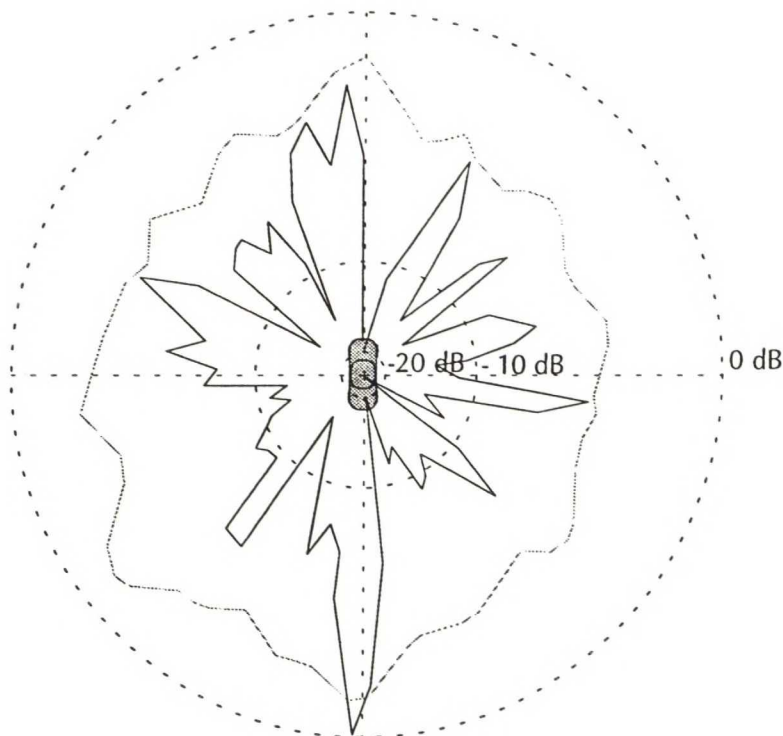




KUVA 6-12. Maastossa signaali etenee suoraviivaisesti, kun taas kaupunkialueella signaali saattaa edetä myös lähes pystysuoraan (veitsenterädiffraktio talojen kattojen reunoista). [8, s. 295]

Voidaan olettaa, että puhelinta pidetään puhelun aikana 30..60 asteen kulmassa pystytasoon nähden. On myös havaittavissa ilmiö, että käsipuhelimia käytetään laajalti autojen sisällä ilman kunnollista autoantennia. Käsipuhelinten käyttöympäristönä henkilöauto on hyvin yleinen [29]. Mikäli kunnollista kattoantennia ei ole, on puhelimen suuntakuviota ilmeisen mahdotonta ennustaa. Suuntakuvio saattaa muokkautua esimerkiksi kuvan 6-13 mukaiseksi [27]. Kuvio vaihtelee riippuen käsipuhelimen paikasta ja asennosta sekä ihmisen vaimentavasta vaikutuksesta. Maksimit ja minimi ovat usein hyvin lähellä toisiaan, ja tehoerot ovat 30 dB:n luokkaa. Järjestelmän kannalta tästä aiheutuu kaksi ongelmaa: kentänvoimakkuus auton sisällä on pieni ja eteneminen joihinkin suuntiin autosta on hyvin vähäistä.

Lähteessä [27] tehtyjen mittausten perusteella auton sisällä säteilevä käsipuhelin synnyttää keskimäärin noin 10 dB heikomman kentän verrattuna kattoantenniin, johon syötetään sama teho. Kun puhelin on auton sisällä käyttäjän kädessä, suuntakuvio muuttuu jatkuvasti. Tämän johdosta käyttäjä havaitsee tilanteen huonona puheenlaaduna, lisääntyneinä mittauksina, kanavanvaihtoina ja puhelujen katkeamisina. Ongelma korostuu käsipuhelimilla, joilla on epätasainen suuntakuvio. Kappaleessa 6.2. on päätelty, että nykyisen käsipuhelimen keskimääräinen vahvistus on noin -4,9 dBi. Jos tällaista puhelinta pidetään auton sisällä, on sen keskimääräinen vahvistus lähteen [27] perusteella noin -15 dBi. Tämä aiheuttaa varmuudella ongelmia etenkin heikossa kentässä.



KUVA 6-13. Käsipuhelimen ollessa auton sisällä suuntakuviomuuttuu mm. auton runkorakenteiden vuoksi merkittävästi. Tumma viiva esittää auton sisällä olevaa käsipuhelinta kallistettuna 45°, vaalea viiva on keskellä auton kattoa olevan antennin säteilykuvio. [27]

Koska autossa olevan käsipuhelimen suuntakuvion maksimit tuntuisivat olevan eteen- ja taaksepäin, on tukiasema-antennien säteilykuvioiden oltava kadun suuntaiset. Näin tilanne varsin usein onkin.

Tehonalennuksen puhelun alussa (ULS) pitää tulla epätasaisen suuntakuvion laitteilla mahdollisimman nopeasti. Autokoneista ja korkealla olevista hyvistä laitteista aiheutuu häiriöitä (mm. samakanavahäiriö), joita voidaan tehonalennuksen avulla torjua.

Jonotusparametriä (RE) käytetään silloin, kun tukiasemalla on estoa. Parametrillä ohjataan matkapuhelimeen tulevat puhelut tukiaseman estotapauksessa joko jonotamaan tukiasemalle tai hakemaan vapaita kanavia lähitukiasemilta. Aikaisemmissa Teillä tehdyissä tutkimuksissa on todettu jonotuksen olevan tehokkaampaa B-tilaajan kannalta.

MLS-parametri on signaalinvoimakkuuden taso tukiaseman sisäiselle kanavanvaihdolle. Mikäli kanavanvaihto toiseen soluun ei onnistu, tarkastetaan tämän

parametrin avulla vielä, olisiko syytä vaihtaa puhelu jollekin toiselle saman tukiaseman kanavalle. Sisäisellä kanavanvaihdolla pyritään siis torjumaan häiriöllisiä yhteyksiä.

Huonolla laitteella hyviä laitteita enemmän hälytyksiä kuin hyvillä laitteilla. Koska huono laite aiheuttaa enemmän kohinaa, ilmenee tällaisella laitteella myös enemmän sisäisiä kanavanvaihtoja. Mikäli parametri asetetaan huonoimman laitteen perusteella, hyvät laitteet saavat enemmän sisäisiä kanavanvaihtoja. Parametri ei lisää hälytysten määrää, koska se vaikuttaa vasta hälytyksen jälkeen. Näin ollen parametrin muutos vaikuttaa vain signaloinnin määrään.

Antennin korkeus- ja suuntaparametrit määräytyvät kapasiteetti- ja toistumakuvioiden perusteella.

Suurkaupungeissa solukokoja pienennetään eli siirrytään mikrosolujen käyttöön. Nämä ovat hyvin rajatulla alueella, mahdollisesti yksittäisellä kadunpätkällä, toimivia soluja. Käsi puhelinten kannalta mikrosolujen antennien alarajan pitäisi olla vähintään muutaman metrin korkeudella. [11]

Autossa olevan käsi puhelimen suuntakuviot on kuvan 6-13 perusteella suuntautunut eteen- ja taaksepäin auton runkoon nähden. Voidaan päätellä, että säteilykuviot on suuntautunut keskimäärin jonkin verran enemmän eteen- kuin taaksepäin johtuen siitä, että liikenteessä on myös paketti- kartano- ym. mallisia autoja, joiden takaosa on radiosignaalien kannalta este. Auton sisällä tukiaseman antenni ei näy kovinkaan suuressa kulmassa lähellä tukiasemaa. Toisaalta tukiaseman läheisyydessä lähikentässä signaalinvoimakkuus on riittävä, vaikka auton katto olisikin edessä. Mikäli mikrosolun antenni asennetaan 20 metriä korkean rakennuksen katon reunatasolle, on syntyvä kulma teoriassa riittävä niillä etäisyyksillä (luokkaa muutama sata metriä), joilla auton katto saattaisi vaimentaa liikaa signaalia. Myöskään maaseudulla antennin korkeudella ei ole merkitystä tässä suhteessa, koska etäisyydet ovat pitkiä.

Kun maastomittausten tuloksia tarkastellaan kuvasta 6-5, havaitaan, että kaikkien puhelinten virhetilanteita oli eri puhelinten kulmilla suurin piirtein saman verran (kulmalla 0 astetta 62 kpl, kulmalla 45 astetta 59 kappaletta ja kulmalla 60 astetta 61 kappaletta). Mallit A ja D olivat parempia isolla kulmalla, toisin kuin mallit B ja C. Jos puhelimia vielä pidetään noin 45 asteen kulmassa puhelun aikana, on mittaustulosten perusteella kokonaisuutena ottaen melko samantekevää, millä korkeudella tukiasema-antenni on vapaassa tilassa. Mikrosolut vaikuttavat lisäksi niin pienellä alueella, että puhelimet joka tapauksessa todennäköisesti toimivat niiden alueella.

Datakanava on tukiasemalla oleva kanava, joka huolehtii päivitystiedosta MTX:n ja tukiaseman välillä sekä hälytyksien välityksestä. Ylivoimaisesti eniten datakanavalla välitetään kentänvoimakkuusmittauksia. Tavalliset puhekanavat huolehtivat Φ -hälytyksien välityksestä, datakanava huolehtii oikeastaan kaikesta muusta tiedonvälityksestä.

NMT 900 -järjestelmän tukiasemilla on tällä hetkellä käytössä enintään 2 kappaletta datakanavia. Tukiasemilla käytetään enimmäkseen yhtä datakanavaa silloin, kun puhekanavia on vähintään neljä. NMT 450 -järjestelmässä datakanava on pääsääntöisesti sellaisilla tukiasemilla, joilla on enemmän kuin viisi kanavaa.

Ruotsissa on käytössä ns. nopeita datakanavia. Ne ovat vain kanavanvaihtomittauksia varten varattuja kanavia tukiaseman ja MTX:n välillä. Nopeiden datakanavien eräänä pääideana on lisätä systeemin älykkyyttä siten, että lisätään kanavanvaihtojen lukumäärää ja ohjataan puheluja mahdollisimman hyviin soluihin. Lisäksi pyritään tasaamaan liikennettä eri solujen kesken voimakkaan liikenteen aikaan.

Datakanavalla siirtonopeus ja -menetelmä ovat identtiset tavalliseen kanavaan verrattuna. Datakanavalla tapahtuva kanavanvaihtoon liittyvä mittaus kestää luokkaa 500 millisekuntia. Mittausaika on keskuskohtainen parametri (mittaustulosten odotusaika).

Huonot puhelimet generoivat hyviä puhelimia enemmän mittauksia, mikä vaikuttaa datakanavien kuormitukseen. Mittaukset keskittyvät tiettyihin soluihin, jotka voivat kuormittaa huomattavasti enemmän kuin hiljaisten alueiden solut.

Jos kanavanvaihtoprosessi alkaa nykyistä aikaisemmin ja päällekkäispeittoa on vain vähän, vaikuttaa se verkon kuormitukseen. Mikäli päällekkäispeittoa on riittävästi, on todennäköistä, että puhelin saa nopeasti hyvän kanavan. Tukiasemien välinen edestakainen kanavanvaihto kuormittaa myös verkkoa.

6.3.2. PUHELUN MUODOSTUS

Mittaustuloksista puhelunmuodostukseen vaikuttavat tehotaso, herkkyys, suuntakuvio sekä antennivahvistus ja hyötysuhde.

Tehotasoon ei voida paljoakaan vaikuttaa. Käsipuhelimessa on vain kaksi tehotasoa (pieni teho 0,1 W ja keskiteho 1 W). Käyttämällä keskitehoa kuluu akku huomattavasti nopeammin kuin pienellä teholla. Lisäksi pieni teho aiheuttaa vähemmän häiriöitä. Spesifikaatiot määrittävät tehotasojen rajoiksi 30 ± 3 dBm (0,5...2 W) ja 20 ± 3 dBm (0,05...0,2 W). Työssä tehtyjen mittausten pohjalta vaikuttaa siltä, että nykyisten käsipuhelinten tehotasot – etenkin suurempi tehotaso – ovat lähempänä spesifikaatioiden ala- kuin ylärajaa. Tähän on oletettavasti syynä akkujen kestävyys optimointi.

Herkkyysvaihtelut eri puhelinmallien välillä aiheuttavat laatueroja puheyhteysissä. Laboratoriomittausten perusteella jokainen puhelin täyttää reilusti herkkyyksivaatimukset.

Eri puhelinmallien suuntakuviot saattavat poiketa toisistaan huomattavasti (kuva 6-1) . Tämä aiheuttaa ilmeisesti eniten yhteyksien laatueroja eri mallien välillä. Tasaisen suuntakuvion laitteet käyttäytyvät ennustetulla tavalla puhelimen asennon muuttuessa, mutta epätasaisen suuntakuvion laitteet ovat arvaamattomia. Katvealueella suuntakuvion epätasaisuuden havaitsee esimerkiksi siten, että yhteyden saa vain puhelimen ollessa tietyssä suunnassa.

Hyötysuhteeseen vaikuttaa lähinnä antennin seisovan aallon suhde (SAS), johon on hyvin vaikeaa verkon suunnasta puuttua.

6.3.2.1. HMS A-tilaajana

Puhelunmuodostustilanteessa, kun HMS on A-tilaajana, vaikuttavat kentänvoimakkuus, yhteydenottoaistan rajat sekä epätasapaino.

Kentänvoimakkuuteen vaikuttaa vaimennus yhteysvälillä, johon voidaan vaikuttaa antennikorkeutta muuttamalla. Mikrosolujen kohdalla antennin korkeuden tulisi kuitenkin olla muutaman metrin luokkaa, jotta lähete ei olisi liian häiritsevää. [11] Autokäytön vuoksi on matalalla oleva tukiasema-antenni korkealla olevaa parempi vaihtoehto. Toisaalta signaalin nopeat ja voimakkaat vaihtelut johtuvat liikkuvan aseman matalasta antennikorkeudesta. Koska vastaanottoantenni on suhteellisen ympärisäteilevä, heijastuu ja diffraktoituu lähiympäristön esteistä antenniin eri vaiheissa olevia aaltoja, toisin sanoen tapahtuu monitie-etenemistä.

Eräs tapa lähetteen parantamiseksi on lisätä tukiaseman mastoon vahvistukseltaan lähetinantennia suurempi vastaanotinantenni (antennivahvistuksien ero). Vaikka tämä toimisikin, ovat vaikeutena käytännön ongelmat: tukiasemamastoa ei voida kuormittaa liikaa, ja koska mastot ovat usein muutenkin täynnä, lieenee ajatus hylättävä. Lisäksi, jos antennin vahvistusta lisätään, muuttuu antennin suuntakuvio kapeammaksi ja hyötysignaalin lisäksi myös häiriöt vahvistuvat.

Myös häipyminen (kappale 2.4.) aiheuttaa lähetteen heikennystä. Tilannetta voidaan parantaa toistemenetelmillä (diversity). Tällöin vastaanotetaan kahta tai useampaa signaaliversiota, joista valitsemalla kulloinkin paras signaali tai yhdistelemällä signaaleja saadaan parannettua järjestelmän suorituskykyä. Vaikka eri signaaliversioissa saattaa olla muutaman kymmenen desibelin häipyymiä, on epätodennäköistä, että häipymät ilmenisivät eri signaaliversioissa täsmälleen samalla hetkellä. [1, 8]

Paikkatoisteessa signaali vastaanotetaan kahdella tai useammalla antennilla, jotka NMT-järjestelmässä ovat tavallisesti samalla vaakaviivalla. Ideana paikkatoisteessa on se, että antennien korkeusero vastaa interferenssimaksimin ja -minimin eroa, jolloin toisessa antennissa on voimakas ja toisessa heikko signaali.

Kaventamalla yhteydenotto- eli AC-kaistaa puhelimet saavat nopeammin kanavan. Mittauksissa havaittiin, että parhaan ja huonoimman puhelimen keskimääräisen säteilytehon ero on noin 8 dB. Koska käsipuhelimen antenni on resiprookkinen, eroaa kanavien hyväksymisessä käytetyt tasot myös tämän verran eri puhelimilla.

AC-kanavia etsittäessä tasovaatimus laskee kierrosten edetessä 10 dB:n portain (taulukot 2-1 ja 2-2). Toisin sanoen hyvän puhelimen saadessa kanavan huono puhelin etsii vielä kanavaa, kunnes vaatimustasoa on alennettu 10 dB. Kun käsipuhelin hakee vapaata AC-kanavaa määrätyltä kaistalta, viivytään jokaisella kanavalla 20 ms. Jos oletetaan, että AC-kaistaa kavennetaan 80 kanavasta 40 kanavaan, vähenee hakuaika kierrosta kohden 1,6 sekunnista 0,8 sekuntiin. Taulukko 2-1 kuvaa tässä tapauksessa huonompaa tilannetta kuin taulukko 2-2, koska siinä on kierroksia ennen tasonpudotusta enemmän. Mikäli hyvä laite taulukon 2-1 tapauksessa saa kanavan ensimmäisellä hakukierroksella, huono laite saa kanavan vasta viidennellä kierroksella. Tämä tarkoittaa sitä, että huono laite etsii kanavaa 6,4 sekuntia hyvää kauemmin. AC-kaistan kavennuksen johdosta aika laskisi 3,2 sekuntiin. Parannus ei tällä tavoin pääteltynä olisi erityisen merkittävä asiakkaan kannalta.

Kappaleessa 6.4.1. on esitetty peittoalueen rajat eri tehotasoille, kun on otettu huomioon *epätasapaino*.

Tiheän solukon alueilla samakanavahäiriöiden hallitseminen on erityisen tärkeää piensolujen suuren lukumäärän vuoksi. LLS-parametrin muuttamisella voidaan vaikuttaa hiukan asiaan.

LLS-parametrin vaikutusta kokeiltiin Helsingissä Hämeentien ja Postintaipaleen tukiasemilla. Näiden tukiasemien LLS-parametri oli asetettu kohtalaisen pieneksi. Tukiasemien välimaastossa saattoi ajoittain ilmetä samakanavahäiriötä. Tukiasemien kuuluvuusalueiden rajoja testattiin käytännön kokeella ajamalla tukiasemien läheisyydessä ja tutkimalla kanavien vaihtumispaikkoja. Kokeessa käytettiin sekä autopuhelinta että mallin A käsipuhelinta. Tämän jälkeen Hämeentien solun LLS-parametriä nostettiin viidellä yksiköllä ja toistettiin koe.

Hämeentien tukiaseman peitto pääkeilan suuntaan oli ennen parametrimuutosta käsipuhelimella noin 1,5 km tukiasemasta ja autopuhelimella noin 2,0 km. Parametrimuutoksen jälkeen käsipuhelimen peittoalue pysyi samana, mutta autopuhelimen peittoalue pienentyi ajoreitillä muutamalla sadalla metrillä. Näin ollen parametrimuutoksesta, ainakaan näin varovaisen muutoksen jälkeen, ei näyttäisi olevan mainittavaa hyötyä käsipuhelinten autossa käytön kannalta. Parametrin suurempi muutos, luokkaa kymmenen yksikköä, näkyisi jo selvemmin mittaustuloksissa.

Koska LLS-parametri ei lisää verkon kuormitusta johtuen siitä, että vertailu LLS-parametrin arvoon tehdään aina puhelun alussa, ei sen muutoksista ole tässä mielessä haittaa. Ongelmakohdissa parametrin nostoa on syytä harkita.

6.3.2.2. *HMS B-tilaajana*

Jos tukiaseman kaikki liikennekanavat ovat käytössä, RE-parametrilla määrätään, jäädäänkö jonottamaan vai etsitäänkö lähitukiasemilta vapaata puhekanavaa. Jos jonon pituudeksi asetetaan 0, kanavanhakutoiminne on käytössä. Mikäli vapaata kanavaa ei ole, matkapuhelin saa kutsukanavalla käskyn hakea vapaata puhekanavaa muilta tukiasemilta. Mikäli kanavaa ei tällöinkään löydy, matkapuhelin lopettaa kanavahaun 10 sekunnin kuluttua ja palaa kutsukanavalle. Tämän jälkeen A-tilaaja saa tiedon, että yhteyttä valittuun numeroon ei saatu.

RE-parametrin vaikutusta kokeiltiin Äkäslompolon tukiasemalla hiihtolomakaudella viikolla 9, jolloin hiihtokeskuksessa lomailevat kuormittavat kyseistä tukiasemaa normaalitilanteeseen nähden merkittävästi. Lisäksi tukiasemalla on jonkin verran päällekkäispeittoa. Naapureina on kaksi tukiasemaa, joten jonotusparametrin toimivuutta voidaan kyseisellä tukiasemalla tutkia.

Tukiaseman RE-parametri asetettiin kanavahakuun kahdeksi päiväksi, minkä jälkeen se asetettiin jonotukseen yhtä pitkäksi ajaksi. Näiltä ajoilta otettiin purkukoodilistaus.

Kanavahaun ajaksi RE-parametrin arvoksi asetettiin 0, jolloin kaikki tulevat puhelut ohjattiin tukiaseman estotapauksessa muiden tukiasemien kautta. Jonotuksen aikana RE-parametrin arvoksi asetettiin 50. Luku tarkoittaa jonon pituutta eli kuinka monta puhelua jonossa voi yhtä aikaa olla. Parametrin arvo on prosenttiluku kokonaiskanavamäärästä.

Onnistuneita puheluita kanavahaun aikana oli 38,8 % ja jonotuksen aikana 36,4 %. Onnistuneita puheluita oli siis kanavahaun aikana noin puolitoista prosenttiyksikköä enemmän kuin jonotuksessa. Parannus ei ole erityisen selvä, mutta tuloksien mukaan kanavanhaku ei ainakaan pahentanut tilannetta. Eron pienuuden selittää se, että päällekkäispeitto ei ole erityisen hyvä. Paremman päällekkäispeiton alueella ero olisi todennäköisesti paljon selvempi. Näin ollen kanavanhakuparametria voi suositella estoisissa soluissa, joilla on päällekkäispeittoa. Nämä tukiasemat on valittava paikkakunnittain sen mukaan, kuinka kuormitettuja tukiasemat ovat.

Äkäslompolon RE-parametrikokeilun perusteella voisi olla syytä tehdä aiheesta jatkotutkimuksia.

6.3.3. KANAVANVAIHTO

Kanavanvaihdon kulku on esitetty kaaviokuvana kappaleessa 2.3. Kanavanvaihto voi tapahtua laatu- tai kentänvoimakkuushälytyksen perusteella. Laatuun perustuva kanavanvaihto tapahtuu Φ -signaalin S/N-muutoksen perusteella ja kentänvoimakkuuteen perustuva kanavanvaihto tapahtuu L_H -parametrin perusteella (kappale 2.5.).

L_H -parametrin raja on tiheän verkon alueilla hieman korkeammalla kuin maaseudulla. Jos tukiasemalla on häiriötapaus, pääsee MS siirtymään kohtuullisen nopeasti toiselle

tukiasemalle. Mikäli hälytysrajaa lasketaan, MS tai HMS pääsee etenemään kauemmaksi kotitukiasemalta. Tästä saattaa aiheutua samakanavahäiriötä. Epätasainen suuntakuvio joko pahentaa tai parantaa tilannetta riippuen maksimien ja minimien suunnista. Koska tiheässä verkossa samakanavahäiriöiden eliminointi on tärkeimpiä tehtäviä, ei Φ -hälytyksen rajaa ole syytä kyseisellä alueella laskea.

Kanavanvaihtoon liittyvät tärkeimmät parametrit ovat ISS ja L_H . ISS ei mielellään saisi olla kovin pieni, koska kentän satunnaisista vaihteluista johtuen voi olla mahdollista saada väärä mittaustulos. Lähteen [11] mukaan ISS:n oletusarvona ei kannata käyttää nopean häipymän keskihajontaa pienempää arvoa.

Mitä korkeampi L_H -arvo on, sitä aiemmin solun reunaan nähden kanavanvaihtomittaukset alkavat. Parametrin arvon kasvattaminen parantaa näin ollen heikkotehoisten käsipuhelinten yhteyden laatutasoa, mutta hyvillä puhelimilla ilmenee tällöin turhan aikaisia kanavanvaihtoja.

DM-parametri (signaalinvoimakkuuden oletusarvo kotitukiasemalle) on parametri, jota käytetään tukiaseman vikatilanteessa. Tämä olisi syytä asettaa huonoimman käsipuhelimen perusteella. DM-arvo on tällä hetkellä "turvallinen", joten sitä voisi laskea tarvittaessa hiukan. Mikäli arvoksi asetetaan 0, tapahtuu kanavanvaihto naapuritukiaseman mittaustuloksen ollessa vain 6, jolloin puhelu saattaa katketa. Tämän vuoksi parametrin arvon valinnassa täytyy olla varovainen. Parametrin täytyy kuitenkin olla tarpeeksi alhainen verrattuna normaaliin L_H -arvoon, jotta puhelun siirto pois vialliselta tukiasemalta onnistuisi varmasti.

Diplomityön tekovaiheessa ilmenneissä mittavastaanotinten vikatapauksissa nykyinen DM-parametrin arvo oli hyvin toimiva. Vikatapaukset ovat muutoinkin sen verran harvinaisia kokonaisliikenteeseen nähden, että DM-parametrin muuttamisella ei ole oleellista merkitystä.

6.3.4. PUHELUN KATKEAMINEN

Puhelun katkeaminen johtuu radioverkon kannalta suurimmaksi osaksi kentän loppumisesta. Tälle ei oikeastaan ole tehtävissä muuta kuin rakentaa nykyistä tiheämmin solukkoa. Sisätiloissa taas rakennusmateriaali vaimentaa kenttää, minkä johdosta puhelu saattaa katketa.

Eräs tyypillinen puhelun katkaiseva tekijä on käsipuhelimen pariston ehtyminen. Tähän vaikuttavat puhelimen ominaisuudet sekä käyttötottumukset. Verkon kannalta asialle ei voi tehdä paljon. Osa laitteista purkaa puhelun hallitusti käyttöjännitteen alentuessa tarpeeksi, osa taas päättyy Φ_2 -purkuun. [29] Näin ollen ei ole luotettavaa mittaria, kuinka suuri osa puheluista katkeaa puhelimen pariston jännitteen alentumisen johdosta.

Parametreillä voidaan hiukan vaikuttaa heikon kentän, kentänvoimakkuuden nopeiden vaihtelujen sekä tukiasemien vaihtojen aiheuttamiin katkoksiin. Parametrit vaikuttavat kuitenkin kaikkiin solun alueella liikkuviin matkapuhelimiin. Merkittävä osa tilaajista ilmoittaa puhelimensa pääasialliseksi käyttöympäristöksi sisätilat [29]. Parametrin muutoksista aiheutunut hyöty sisätiloissa saattaa ilmetä ongelmoina ulkotiloissa.

Puhelun katkeamiseen vaikuttavat Φ_2 -hälytys sekä LL-parametri. LL-parametriä on jo kokeiltu huonolla menestyksellä. Se on eräänlainen hätätilanteiden parametri, jolla estetään matkapuhelimen häiriökäyttäytyminen verkossa, mikäli matkapuhelin ei jostakin syystä kykene vaihtamaan kanavaa ajoissa.

Eräs ongelma on, että kiinteä autopuhelin ajautuu kunnollisen kattoantennin ja hyvien radioteknisten ominaisuuksien vuoksi häiritsevän kauaksi tukiasemastaan. Kun puhelin siirtyy tarpeeksi kauaksi kotitukiasemasta, alkaa samakanavahäiriö vaikuttaa puheluun. Kun puhelin vihdoinkin yrittää kanavanvaihtoa, ei se kenties löydä enää määriteltyjä naapuritukiasemia lähetyviltään ja puhelu katkeaa. Käytännössä samakanavahäiriö saattaa olla niin kiusallinen, että asiakas katkaisee itse puhelun. Tällaista ajautumista voidaan hillitä parametrimuutoksilla, mutta silloin heikkotehoisten käsipuhelinten tilanne muuttuu todennäköisesti huonommaksi.

L_H -parametrin muutos aiheuttaa mittauksen aloitusajankohdan muutoksen. Parametriä korottamalla saadaan puhelun siirtoprosessi käynnistymään aikaisemmin. Toisaalta naapuritukiaseman pitää olla ISS-parametrin verran kotitukiasemaa parempi, jotta siirto voidaan tehdä. Tämän johdosta ISS-parametria pitäisi tällaisessa tapauksessa madaltaa. Tästä seuraa, että jos L_H -parametri vaikuttaa entistä useammin, myös kanavanvaihto tapahtuu entistä helpommin. Tästä seuraa että huonoilla puhelimilla kanavanvaihdot ja mittaukset lisääntyvät. Tämä johtaa optimointitehtävään. Jos halutaan samakanavahäiriön kannalta kunnollinen verkko, käsipuhelinten kiusalliset puhekatkot lisääntyvät väistämättä.

Mikäli puhelin ajautuu liian kauas tukiasemalta, puhelu voi katketa johtuen siitä, että lähellä ei olekaan määriteltyjä naapuritukiasemia. Ongelmia saattaa aiheutua silloin, jos

kotitukiaseman antenni on korkealla paikalla. Esimerkiksi Hämeenlinnanväylän alussa ilmeni testipuhelimella tällainen ilmiö. Autopuhelimen puhelu jäi "roikkumaan" Metsälän tukiasemalle, kunnes puhelu katkesi vasta noin 14 kilometrin päässä tukiasemasta. Lopuvaiheessa saattoi ilmetä samakanavahäiriötä, koska seuraava samalla taajuudella toimiva tukiasema oli jo liian lähellä. LLS-parametrin muutos ei enää tässä tapauksessa olisi auttanut, koska se oli jo valmiiksi asetettu kohtuullisen korkealle. Mikäli puhelu otetaan tukiaseman läheisyydestä, on kenttä joka tapauksessa riittävän hyvä.

Tässä tapauksessa puhelu on siirrettävä nopeammin pois Metsälän tukiasemalta. Tämä tapahtuu nostamalla L_H -parametrin arvoa ja laskemalla ISS-parametrin arvoa. Tämän seurauksena heikkotehoiset puhelimet aloittavat mittausprosessin nykyistä tilannetta aikaisemmin, mutta koska lähimmät naapuritukiasemat ovat kohtuullisen lähellä moottoritien varrella, ei tästä aiheudu mainittavaa haittaa. ISS-parametrin arvo ei saa olla kuitenkaan liian matalalla, jotta kanavanvaihdot eivät jäisi vaihtelevaan edes takaisin kahden tukiaseman välille.

6.3.5. VAIKUTUS PAINOTETTUNA MAANTIETEELLISESTI

Kappaleessa 4 on käsitelty puhelinten jakaumia maantieteellisesti. Tuloksista voidaan havaita, että mallia A on telepiireistä suhteellisesti eniten Lapin, Oulun ja Keski-Suomen telepiireissä. Mallia D on Vaasan telepiirissä kohtalainen osuus. Suur-Helsingin ja Etelä-Suomen telepiirien alueilla mallin A osuus on lukumääräisesti varsin korkea, koska laitekanta on keskittynyt tälle alueelle. Suhteellinen osuus on kuitenkin vain keskitasoa.

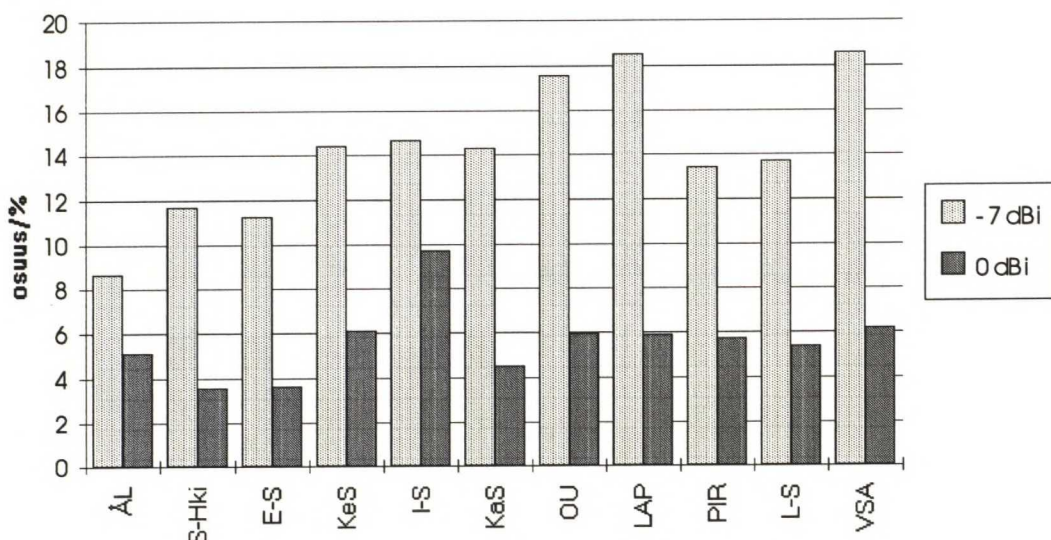
Kappaleen 6.2. perusteella voidaan lähtökohtana pitää sitä, että mallit A, D ja E edustavat "huonoa" tilannetta: niiden keskimääräinen vahvistus on noin -7 dBi (keskiarvo -6,77 dBi). Mallien B ja C voidaan olettaa olevan "hyviä" puhelimia; puhelinten keskimääräiseksi vahvistukseksi voidaan olettaa noin 0 dBi (keskiarvo -0,45 dBi). Markkinaosuuksilla painotettu kaikkien puhelinten keskimääräinen vahvistus on kappaleen 6.2. mukaan -4,9 dBi.

Alueet, joilla malleja A, D ja E on suhteellisesti paljon, ovat kuvan 6-14 perusteella Oulun, Lapin ja Vaasan telepiirit. Vaikka näiden puhelinten suhteellinen osuus Suur-Helsingin ja Etelä-Suomen alueilla ei ole yhtä suuri, on kyseisten puhelinten lukumäärä kuitenkin varsin merkittävä. Joka tapauksessa mitatuista puhelimista jokaisessa

telepiirissä on mitatuista puhelimista selvästi enemmän "huonoja" kuin "hyviä" puhelimia.

Malleja B ja C on suhteellisesti eniten Itä-Suomen alueella, noin 10 %. Muualla näiden puhelinten osuus on varsin tasaisesti noin 4..6 %.

Edellä mainittujen havaintojen perusteella voidaan todeta, että pessimististä käsipuhelinten suunnittelurajaa voidaan ongelmatapauksissa suositella käytettäväksi Oulun, Lapin ja Vaasan telepiirien alueilla. Näillä alueilla "heikkojen" puhelinten suhteellinen osuus on korkeahko. Itä-Suomen telepiirin alueella on huomattava suhteellinen osuus "hyviä" puhelimia. Muut telepiirit ovat tässä suhteessa keskitasoa.



KUVA 6-14. Puhelinten osuudet telepiireittäin ryhmiteltynä -7 dBi:n ja 0 dBi:n rajojen perusteella.

6.3.6. VAIKUTUS PAINOTETTUNA AJALLISESTI

Voidaan havaita, että kesällä lomien aikana (pääasiassa heinäkuussa) matkapuhelintiheys Itä-Suomessa kasvaa, kun taas Etelä-Suomessa tapahtuu päinvastainen ilmiö. Toisin sanoen kesäмокеillä lomaa viettävät kansalaiset ottavat matkapuhelimen mukaansa.

Kesäмоökkialueilla saattaa ilmetä hetkittäisiä ruuhkahuippuja. Tällaisilla alueilla on otettu käyttöön niin sanottuja kesätukiasemia tasaamaan lomakauden ruuhkahuippuja.

[13] Väliaikaiset kanavalaajennukset ovat resurssien kannalta järkevä tapa tasata huomattavia, lyhytaikaisia ruuhkahuippuja.

Voidaan olettaa, että monet kesäloman viettäjät hankkivat peittoalueen rajoilla sijaitseville mökeille erillisen antenniliittimeen kytkettävän mökkiantennin. Koska laboratoriomittauksissa havaittiin, että mitattujen puhelinten antenniin syötettävät tehotasot täyttivät spesifikaatioiden vaatimukset ja eri mallien tehotasot eroavat toisistaan vain 1,4 dB, ei säteilyteho näin ollen ole ongelma. Tästä seuraa myös se, että hyväksi koettuja parametrien arvoja ei tarvitse muuttaa käsipuhelintiheyden kasvun vuoksi.

Sama ruuhkahuippuilmio tapahtuu talvilomien aikana helmi-maaliskuun vaihteessa. Matkapuhelintiheys Pohjois-Suomen laskettelupaikoilla kasvaa normaalitilanteeseen nähden huomattavasti. Diplomityöhön liittyen RE-parametrin muutostekokeilu auttoi hiukan asiaa; ainakin ruuhkahuippujen ajaksi RE-parametrin muutosta kannattaa harkita.

Telellä on käytössä "liikkuva" tukiasema, joka on tarkoitettu palvelemaan erilaisia massatapahtumia. Tällaisen tukiaseman kanavamääritykset on tehtävä aina tapauskohtaisesti, jotta vältetään esimerkiksi samakanavahäiriöitä. Puhelut välitetään radiolinkin avulla edelleen puhelinverkkoon. Periaatteessa liikkuvaa tukiasemaa voisi käyttää myös hiihtolomien aikana hiihtokeskuksissa, mikäli ylikuormitusta ilmenee.

Usean vuoden ajanjaksolla matkapuhelinten laatumuutokset näkyvät oletettavasti puhelinkannassa; malleja A, D ja E vastaavien tyyppien osuus laitekannasta lisääntynee. Voidaan olettaa, että muutokset jakautuvat suhteellisesti tarkasteltaessa tasaisesti eri telepiirien kesken.

6.4. VAIKUTUS MUIHIN VERKKO-OMINAISUUKSIIN

Parametrit ovat tärkeä osa verkkosuunnittelua. Vaikka parametrit on nykyisellään jo asetettu varsin sopiviksi, on niissä vielä pientä virittelyn varaa jäljellä. Tärkeämpää on kuitenkin laatumuutosten vaikutusten miettiminen yksittäisiä parametreja laajempana kokonaisuutena, johon kuuluvat *verkon suunnittelu* ja *päällekkäispeitto*.

Mittaustulosten perusteella uusien käsipuhelinten eniten verkon toimintaan vaikuttava tekijä on säteilykuvion epätasaisuus. Mittaustuloksista havaitaan, että vaikka puhelin

olisi muutoin hyvä, saattaa suuntaavuus, myös vertikaalitasossa, vaikuttaa kokonaisuuteen hyvinkin paljon. Tyyppihyväksyntämittauksissa puhelimen hyvyttä ei mittaustulosten perusteella välttämättä saada täysin selvitettyä.

6.4.1. VERKON SUUNNITTELU

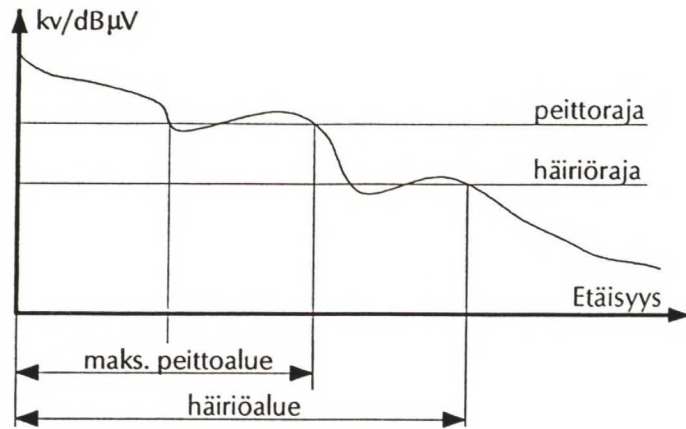
Solukkosuunnittelun osa-alueiden kannalta laatumuutokset vaikuttavat seuraavasti:

Peittoaluesuunnittelu tehdään auto- ja käsipuhelimille erikseen. Käsipuhelinten peittoaluesuunnittelussa keskimääräiseksi antennivahvistukseksi on arvioitu noin 3 dBi. [11] Peittoalue on eri malleille joissakin tapauksissa selvästi erilainen. Keskimääräinen säteilyteho eroaa parhaan ja huonoimman laitteen osalta lähes 8 dB. Koska puhelinten säteilykuvioiden maksimi- ja minimikohtien ero on vapaassa tilassa joissakin tapauksissa kohtalaisen suuri, on häiriö- ja peittoalueen rajoja hyvin vaikea ennustaa tarkkaan. Koska käsipuhelinten käyttö ajoneuvoissa on yleistä, aiheutuu tästäkin ongelmia rajojen tarkassa suunnittelussa.

NMT 900 -verkon suunnittelussa solun peittoalueen raja määräytyy kanavanvaihtoprosessin signaloinnin onnistumistodennäköisyyden avulla. Peittoalueen rajoissa voidaan ottaa huomioon myös ihmisen keskimääräinen vaimennus, joka on noin 3 dB. Kun onnistumistodennäköisyys on 95 %, peittoaluerajan kentänvoimakkuus piensoluille laajennettuna kaavasta 2.8 on

$$E_{hms} = smv + 21.1dB + E_p + \Delta L_a + L_h , \quad (6.1)$$

missä E_{hms} on kentänvoimakkuus liikkuvan aseman kohdalla, smv on 95 %:n signaloinnin onnistumistodennäköisyyttä vastaava jännite tukiaseman kohdalla, E_p on siirtosuuntien epätasapaino (dB), ΔL_a on korjaus aikaisempien mittausten antennivahvistukseen ja L_h on ihmiskehon lisävaimennus (3 dB). Aikaisemmin antennivahvistukseksi on arvioitu -3 dBi. Näin ollen korjaustermi ΔL_a arvo työssä tehtyjen mittausten perusteella on noin 2 dB. (kappale 6.2). Kaavasta voidaan laskea kentänvoimakkuusrajat, kun smv on 7 dB μ V matkapuhelimelle ja 14 dB μ V käsipuhelimelle. E_p saadaan taulukosta 2-3.



KUVA 6-15. Peitto- ja häiriöalueet.

Mikrosolujen tapauksessa hallitseva signaalin etenemistä haittaava tekijä on rakennusten aiheuttama este. Mitä suurempia rakennuksia signaalitiellä on, sitä suurempi on vaimennus.

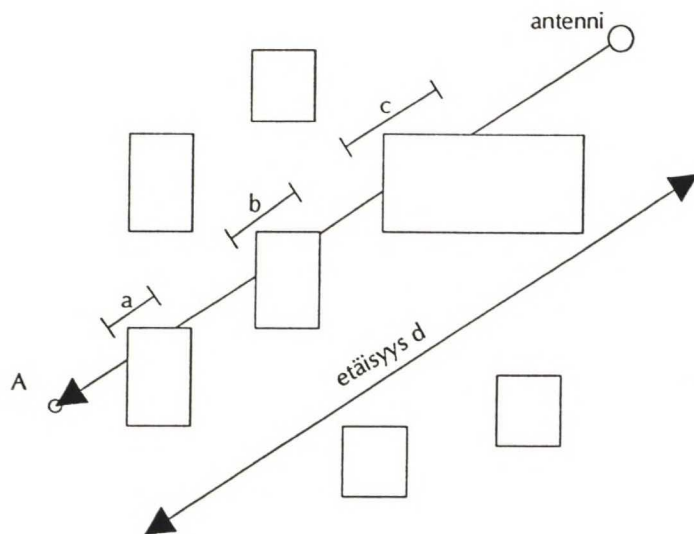
Lähteessä [16] kuvataan tapaa laskea vaimennus kaupunkiolosuhteissa mikrosolujen signaalille:

- Lasketaan rakennusten aiheuttama yhteiskoko laskemalla yhteen yksittäisten rakennusten koko; kuvan x merkintöjä käyttäen $B = a + b + c$ pisteessä A.
- Mitataan signaalinvoimakkuus P_{los} -tapauksessa (line-of-sight).
- Mitataan signaalinvoimakkuus P_{os} -tapauksessa (out-of-sight).
- Vaimennus etäisyydellä d_A on näin ollen

$$\alpha_B = P_{los} - P_{os} \quad (x.x)$$

Lähteen [16, s. 90] mukaan LOS-vaimennus on hyvin voimakasta B:n ollessa alle 150 metriä. Kun B on yli 300 metriä, on vaimennuksen arvo lähes vakio, noin 20 dB. Rakennusten aiheuttama vaimennus on noin 75 dB 600 metrin kohdalla, minkä jälkeen vaimennus on hiukan vähemmän jyrkkää.

Häiriöalueiden rajojen mitoituksessa on otettava huomioon tehotasoltaan parhaat käsipuhelimet. Mittausten perusteella parhaan käsipuhelimen säteilyteho oli 28,3 dBm, mikä kappaleen 6.2.2. päättelyiden perusteella vastaa säteilyvahvistusta +0,4 dBi. Arvo on 5,3 dB parempi kuin markkinaosuuksilla painotettu keskimääräinen käsipuhelinten säteilyteho.



KUVA 6-16. Rakennusten aiheuttama yhteisvaimennus.

6.4.2. PÄÄLLEKKÄISPEITTO

Lähteessä [28, s. 80] on päädytty tulokseen, jonka mukaan käsipuhelinverkon suunnittelussa ei tarvitse ottaa huomioon tukiaseman vaihtoon vaadittavaa päällekkäispeittoa. Toisaalta lähteen mukaan tukiaseman vaihto on ollut käsipuhelimella harvinaista lukuunottamatta kulkuneuvoissa käytettävää puhelinta. Myös lähteessä [29] tehtyjen mittausten perusteella sisätiloissa saattaa olla pääasiassa yksi dominoiva solu, jolloin kanavanvaihtoja rakennusten sisällä ei tapahdu merkittävästi.

Koska nykyisten tutkimusten mukaan käsipuhelinten käyttö on hyvin yleistä nimenomaan autoissa ilman kunnollista kattoantennia, ja kun lähteen [28] ilmestymisen jälkeen markkinoille tulleet käsipuhelimet ovat muuttuneet radioteknisiltä ominaisuuksiltaan, on syytä tarkastella tilannetta uudelleen.

Päällekkäispeiton kannalta on tärkeää verkon optimointi; toisaalta peittoa pitää olla riittävästi, mutta liiallinen peittoalue on resurssien tuhlausta.

Heikkotehoisten laitteiden kannalta on sitä parempi, mitä enemmän päällekkäispeittoa on. Tiheästä päällekkäispeitosta aiheutuu toisaalta ongelmia hyvien laitteiden kannalta.

Kanavanvaihtotilanteessa vaikuttavilla parametreilla voidaan olemassaolevaa verkkoa optimoida. Uutta verkkoa rakennettaessa voidaan tukiasemien sijoituksella vaikuttaa asiaan siten, että solukokoja pienennetään. Etenkin autokäytössä on tärkeää, että puhelu ei katkea puhelimen liikkeessa solun alueelta toiselle. On tärkeää, että suurimmissa kaupungeissa ja pääteiden varsilla luodaan riittävä päällekkäispeitto, jossa otetaan huomioon myös heikkotehoiset puhelimet.

6.5. ENNUSTE NYKYISEN LAITEKANNAN POHJALTA

On nähtävissä, että NMT 900 -verkon tilaajamäärä kasvaa vielä jonkin aikaa, minkä jälkeen saavutetaan huippupiste. GSM-verkon laajentuminen aiheuttanee uusien asiakkaiden liittymisen suoraan digitaaliseen verkkoon sekä jossakin määrin NMT 900 -verkon asiakkaiden siirtymistä GSM-tilaajiksi.

On havaittavissa, että NMT 900 -käsipuhelimia kehitetään edelleen – diplomityön aikana tuli markkinoille yhä pienempiä ja kevyempiä puhelimia. Voidaan olettaa, että näissäkin puhelimissa lähtöteho, etenkin suurempi tehotaso, on optimoitu spesifikaatioiden alarajoille, jotta akun käyttöaika olisi mahdollisimman pitkä. Mitä luultavimmin markkinoille tulevat puhelimet ovat mallien A, D ja E kaltaisia verkon kannalta, jolloin tarvittaneen parametrimuutoksia tilanteen korjaamiseksi.

6.6. NMT 450 -VERKON KEHITYS

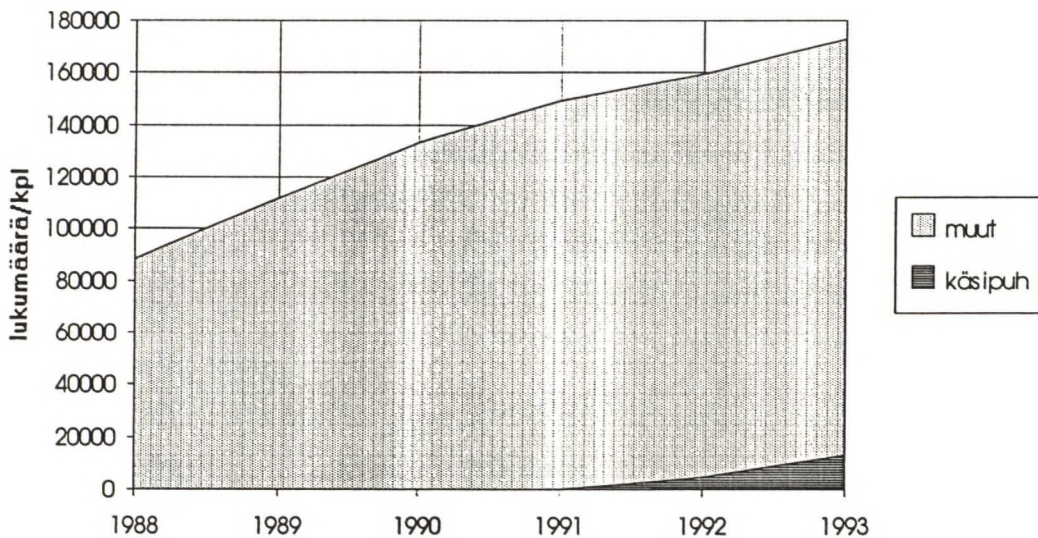
NMT 450 -verkossa on ollut käsipuhelimia käytössä vasta vuodesta 1992 lähtien, jolloin uusi 450i-spesifikaatio teki tämän mahdolliseksi. Alkuperäinen spesifikaatio oli tarkoitettu ainoastaan autopuhelimille. Tällä hetkellä NMT 450 -puhelimia on noin 173000 kappaletta, joista käsipuhelinten osuus on noin 8 %.

Taulukossa 6-12 on esitetty NMT 450 -verkon puhelinkannan määrän kehitys vuosina 1988-1993. [30]

TAULUKKO 6-12. NMT 450 -verkon puhelinkannan kehitys.

	käsi puhelimia	käsi puhelimia/%	kaikki yhteensä
1988	0	0	88406
1989	0	0	111850
1990	0	0	133520
1991	0	0	149300
1992	4829	3.0	159200
1993	13513	7.8	172656

Kuvassa 6-14 on esitetty graafisesti NMT 450 -puhelinkannan määrän kehitys vuosien 1988-1993 aikana. Voidaan olettaa, että tulevat uudet NMT 450 -verkon puhelimet ovat pääasiassa käsi puhelimia. Ennusteiden mukaan NMT 450 -verkko kasvaa vielä. [29]



Kuva 6-17. NMT 450 -verkon laitteiden lukumäärän kehitys vuosina 1988-1993.

NMT 450 -verkko koostuu pääasiassa suurtehoisista soluista. Piensolualueilla voidaan harkita parametrimuutoksia johtuen käsi puhelimien määrän kasvusta – oletettavasti käsi puhelimet keskittyvät nimenomaan suurimpiin kaupunkeihin.

Suuritehoisten tukiasemien alueilla käsi puhelimista aiheutuu ongelmia. Maksimissaan 1,5 W:n tehosta johtuen käsi puhelimilla ilmenee epätasapainoa, eli pitkän matkan päässä tukiasemasta ei puhelimella voida soittaa eikä puhelimeen myöskään saada

puheluja. Asialle ei kuitenkaan voitane mitään, sillä suuritehoisien tukiasemien alueilla ei ole varsinaisesti keinoja torjua ongelmaa.

Toisaalta, koska NMT 450 -verkon käsipuhelinten lähetinteho on hiukan suurempi kuin NMT 900 -käsipuhelinten, on tehonalennus erityisen tärkeää. Tämä vaikuttaa suoraan akkujen keston. Spesifikaation mukaan käsipuhelimen tehotasot ovat 1,5 W (vaihtelurajat -2 dB, +3 dB dB) ja 150 mW. Suurempi tehotaso on oletettavasti säädetty spesifikaatioiden alarajoille. Markkinoilla on myös puhelimia, joissa käyttäjä voi itse jonkin verran vaikuttaa lähetystehon suuruuteen. [11]

NMT 450 -verkon kannalta alueille, minne käsipuhelimet keskittyvät, voidaan suositella osittain samantapaisia toimenpiteitä kuin NMT 900 -verkon tapauksessa. NMT 450 -verkon kehityksessä on kuitenkin huomioitava se, että autopuhelinten suhteellinen osuus verrattuna käsipuhelinten määrään pysyy hyvin korkealla (luokkaa 80 %). [11] Koska järjestelmän taajuus on vain puolet NMT 900 -järjestelmän taajuudesta, radioaallot etenevät pitemmälle ja ovat tunteettomampia maastoesteille.

Diplomityön valmistumishetkellä markkinoilla oli viisi NMT 450 -käsipuhelinmerkkiä. Oletettavasti näiden säteilyominaisuuksissa on yhtymäkohtia työssä saatuihin NMT 900 -käsipuhelinten mittaustuloksiin. Aiheesta on suositeltavaa tehdä jatkotutkimus.

6.7. VIRHETARKASTELU

Valitut puhelimet edustavat yhtä otantaa puhelinkannasta. Samojen tyyppien väliset erot olivat mittausten perusteella hyvin vähäiset. Puhelimet on kuitenkin todennäköisesti valmistettu melko samaan aikaan, mikä saattaa osaltaan selittää tilannetta. Toisaalta spesifikaatiot ovat sen verran vaativat, että merkitseviä eroja ei pitäisikään syntyä.

Laboratoriomittaukset on tehty samalla tavoin kuin tyyppihyväksyntämittauksetkin lukuunottamatta deviaatiota +94 dB kuulokynnyksen yli ja säteilykuviomittauksia. Radiokaiuttomassa huoneessa ei käytetty spesifikaatioiden määrittelemää johtavaa maatasoa, joka vaikuttaa säteilykuvion tasaisuuteen. Käytännön tilanteita ajatellen maatason puuttuminen ei kuitenkaan välttämättä ole huono asia – harvassa paikassa radioaallot heijastuvat kuten metallitasosta.

Säteilykuviomittauksissa käytetty häiriösuojattu mittaushuone on mahdollisimman hyvin eristetty ulkoisilta häiriöiltä. Tele-Engineerin mittauslaboratoriossa tehdään virallisia tyyppihyväksyntämittauksia radiolaitteille.

Maastomittauksista sellaisina, kuin ne tässä työssä on toteutettu, on vaikea saada täysin luotettavia tuloksia. Testattavia puhelimia sekä yhteyskokeiluita pitäisi olla huomattavasti enemmän. Samoin ulkoiset häiriöt, kuten häipymät radiotiellä ja verkon kuormitus, pyrkivät vaikuttamaan tuloksiin. Käytännön mittauksista saa kuitenkin jo joitakin suuntaa-antavia tuloksia puhelinten käyttäytymisestä radioverkossa. Puhelinten välillä onkin samansuuntaisia eroja sekä käytännön mittauksen että laboratorio-mittauksen perusteella.

Kaupunkimittaukset ovat luotettavuudeltaan samaa tasoa kuin maastomittaukset. Niistäkin on vaikea tehdä täysin luotettavia johtopäätöksiä, koska tuloksiin vaikuttavat liikkeellä oltaessa liikennevirran nopeus, autojen määrä ympärillä ja naapuritukiasemien kuormitus. Mittaussarja edustaa kuitenkin tyypillistä käyttöolosuhdetta käsipuhelimilla.

Käytettyjen puhelinten testit osoittivat, että kulumisilmiöitä ei ole tapahtunut puhelinten käyttäytymisen kannalta radioverkossa. Virhemarginaali tässä tapauksessa saattaa kuitenkin olla hyvin merkittävä. Käytettyjen puhelinten laatumuutoksista on vaikea tehdä luotettavia johtopäätöksiä mitattujen puhelinten pienen lukumäärän vuoksi. Koska suunnittelussa on lähtökohtana pidettävä mittauksista saatavaa mahdollisimman todenmukaista kuvaa, on kuitenkin oletettava, ettei puhelimissa tapahdu merkittäviä vanhenemisilmiöitä.

Tuloksena saatu käsipuhelinten keskimääräinen säteilyteho on eräs arvio asiasta. Tulos painotettiin mitattujen uusien käsipuhelinten markkinaosuuksilla, mikä antaa järkevän kuvan tilanteesta. Tulosta ei painotettu aikaisemmalla käsipuhelinten vahvistuksen oletusarvolla, koska sitä ei aikaisemmin ole mitattu tässä työssä esitetyllä tavalla.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä ilmeni, että suurimmat erot käsipuhelinten välillä ovat säteilytehossa sekä säteilykuvion tasaisuudessa. Saadut mittaustulokset kuvastavat tältä osin puhelinten käyttäytymistä vapaassa tilassa. Puhelimilla on suuntaavuutta myös vertikaalitasossa. Kahdella mitatuista laitteista kallistuskulman suurentaminen vaikutti haitallisesti yhteydenmuodostukseen, kahdella kallistus taas paransi tilannetta.

Tuloksena on saatu nykyisten käsipuhelinten keskimääräiseksi vahvistukseksi -4,9 dBi painotettuna näiden markkinaosuuksilla. Keskimääräinen vahvistus on mitatuilla puhelimilla välillä -7.3...+0.4 dBi, joten hajonta on kohtuullinen.

Käsipuhelimen antennivahvistukseksi on oletettu aikaisemmin -3 dBi [29]. Työssä havaittu uusi keskimääräinen vahvistus on suositeltavaa ottaa huomioon käsipuhelinten peittoalueen ennustamisessa siten, että nykyiseen käsipuhelinten peittoalueen suunnittelurajaan tarkastetaan 2 dB:n verran.

Työn aikana tehtyjen havaintojen perusteella voidaan todeta, että pessimististä käsipuhelinten suunnittelurajaa voidaan ongelmatapauksissa suositella käytettäväksi Oulun, Lapin ja Vaasan telepiirien alueilla johtuen malleja A, D ja E edustavien puhelinten suuresta suhteellisesta osuudesta kyseisillä alueilla. Suur-Helsingin ja Etelä-Suomen alueilla suunnittelurajaa voidaan myös harkita tutkittavaksi. Muualla Suomessa ei työssä havaittujen hyvien ja heikkojen puhelinten välinen suhteellinen ero ole niin selvä, että verkon muutoksiin olisi pysyvästi samanlaista tarvetta.

Koska on havaittavissa, että käsipuhelinta käytetään huomattavan usein autossa ilman autoasennussarjaa, ja koska autossa olevan käsipuhelimen suuntakuvion maksimit näyttäisivät olevan eteen- ja taaksepäin, on tukiasema-antennien säteilykuvioden oltava kadun suuntaiset. Näin tilanne varsin usein onkin.

Työssä tutkittiin joitakin NMT 900 -parametrejä, jotka vaikuttavat uusien käsipuhelinten toimintaan verkossa. Näihin saatiin eräitä muutosehdotuksia.

Lomasesonkien vuoksi parametrimuutoksia voidaan myös suositella tehtäväksi väliaikaisesti kyseisiksi ajankohdiksi ongelma-alueille. Tällaisia paikkoja ovat mm.

Pohjois-Suomen hiihtokeskukset. Myös liikkuvien tukiasemien käyttöä olisi syytä harkita ruuhkahuippujen aikoina nykyistä enemmän.

On oletettavaa, että usean vuoden ajanjaksolla matkapuhelinten laatumuutokset näkyvät puhelinkannassa; malleja A, D ja E vastaavien tyyppien osuus laitekannasta lisääntynee. Muutokset jakautunevat suhteellisen tasaisesti eri telepiirien kesken.

NMT 450 -verkon kannalta suurissa kaupungeissa, minne käsipuhelimet keskittyvät, voidaan suositella samanlaisia toimenpiteitä kuin NMT 900 -verkon tapauksessa. Verkon suunnittelussa on tosin otettava huomioon se, että puhelimista valtaosa on myös myöhemmin autopuhelimia. Koska verkko eroaa luonteeltaan jonkin verran NMT 900 -verkosta, on NMT 450 -puhelinten säteilyominaisuuksista ja näiden vaikutuksesta verkon suunnitteluun syytä tehdä jatkotutkimuksia.

NMT 900 -verkon nykyisten käsipuhelinten säteilyominaisuudet ja niiden ongelmat on yleistettävissä koskemaan myös GSM-verkon käsipuhelimia.

LÄHDELUETTELO

- [1] Digitaaliset radiolinkit, kurssimoniste s-93. Otakustantamo, 1993, 415 s.
- [2] NMT DOC. 3. 1979, 3rd edition. Technical specification for the mobile station. Nordic Mobile Telephone group. 95 s.
- [3] NMT DOC. 900-1. January 1985. System description. Nordic Mobile Telephone group. 77 s.
- [4] NMT DOC. 900-2, 3rd edition. January 1985, Draft. Technical specification for mobile telephone exchanges. Nordic Mobile Telephone group. 137 s.
- [5] NMT DOC. 900-3. January 1985. Technical specification for the mobile station. Nordic Mobile Telephone group. 173 s.
- [6] NMT DOC. 900-4. May 1984, 2nd edition. Technical specification for the base station equipment. Nordic Mobile Telephone group. 91 s.
- [7] 8th International Conference on Antenna and Propagation (ICAP). 1993. Part 1: Propagation. pp. 242-244.
- [8] 41st IEEE Vehicular Technology Conference. May 19-22 1991. St. Louis, Missouri. 924 s.
- [9] Kajamaa, T. 1993. Radioaaltojen eteneminen ja niiden tunkeutuminen sisätiloihin. INSKO 30. - 31.3.1993, Sisätilojen radiojärjestelmät - suunnittelu ja sovellukset. 19 s.
- [10] Jordan Kalev. Network Planning Overview. Nokia Cellular Systems, 23.3.1992. 14 s.
- [11] Henkilökohtaiset keskustelut Telen Matkapuhelinpalvelut-yksikön edustajien kanssa.

- [12] Henkilökohtaiset keskustelut Tele-Engineerin edustajien kanssa.
- [13] Kesäajan kanavalaajennukset Lounais-Suomen alueella 1992. TELE/Matkapuhelinpalvelut, sisäinen raportti 13.11.1992. 7 s. Salainen.
- [14] Kokko, Pekka Olavi. 1994. Matkapuhelinverkkojen sisätilojen suunnittelu. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto. 93 s.
- [15] Koistinen, O., NMT-verkon parametrit, PTL-TELE/Radiopalvelut, 1987, 5 s.
- [16] Lee, William C. Y. 1993. Mobile Communications Design Fundamentals, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York. 372 s.
- [17] Lindell, Ismo V. 1987. Antenniteoria, toinen painos. Helsinki, Otakustantamo. 222 s.
- [18] Lähteenmäki, J., 1993. Radioaaltojen eteneminen sisätiloissa. INSKO 30. - 31.3.1993, Sisätilojen radiojärjestelmät - suunnittelu ja sovellukset. 22 s.
- [19] Mattila, M. 1987. Solukoon pienentäminen NMT-450-matkapuhelinjärjestelmässä pistemäisiä säteilijöitä hyväksi käyttäen. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Radiotekniikan professuuri. 54 s.
- [20] Mattila, Mikko. 1990. Nykyaikainen radioverkkosuunnittelu: Peittoaluesuunnittelu Lisensiaattikurssi 6.3.1990. PTL-TELE Matkapuhelinpalvelut.
- [21] Paetsch, Michael. 1993. Mobile Communications in the US and Europe: Regulation, Technology, and Markets. London, Artech House. 417 s.
- [22] NMT 900 -keskuksien palvelutaso v. 1992 ja 1993. NMT 900 Hallintakeskus, Helsinki. Sisäinen tilasto.

- [23] Parsons, David. 1992. The Mobile Radio Propagation Channel. London, Pentech Press. 316 s.
- [24] Penttinen, J. 1993. GPS:n soveltuvuus TELE:n matkaviestinverkkojen kuuluvuusaluemittauksiin. Informaatiotekniikan erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu, Tietoliikennelaboratorio. 29 s.
- [25] Radiopuhelimet, kurssimoniste s-92. Otakustantamo, 1992.
- [26] Rautio, Jouko. 1993. NMT 900 -verkon parametrit, TELE Matkapuhelinpalvelut. Sisäinen raportti. 6s.
- [27] Rautio, Jouko. 1992. NMT-järjestelmän yhteydessä kohdattavat etenemisongelmat. Radioaaltojen etenemiskysymykset siirtyvässä radioliikenteessä, seminaari 19.11.1992. TELE Matkapuhelinpalvelut. 21 s.
- [28] Suorsa, Salla. 1988. NMT 900 -verkon peitto- ja häiriösuunnittelu erityyppisiä matkapuhelimia varten. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Tietoliikennelaboratorio. 83 s.
- [29] Telen sisäisiä tutkimusraportteja.
- [30] Tilastot. NMT 450 ja NMT 900 -laitetyyppien lukumäärä ryhmiteltynä laitetyypeittäin ja maantieteellisesti vuosilta 1988 - 1993. TELE Matkapuhelinpalvelut, sisäinen tilasto.

NMT 900 -JÄRJESTELMÄN PARAMETRIT

TUKIASEMALLA ASETETTAVAT PARAMETRIT

Tukiasemakohtaiset parametrit on esitetty taulukossa L1-1. Nämä vaikuttavat vain kyseisen tukiaseman alueella. [15]

TAULUKKO L1-1. Tukiasemakohtaiset parametrit.

Parametri	Asetusalue	Kuvaus
Φ -signaalin S/N, ylempi arvo Φ_1	10..40 dB	aloittaa puhelun siirron
Φ -signaalin S/N, alempi arvo Φ_2	-10..0 dB	aloittaa puhelun katkaisun
kentänvoimakkuuden ylempi arvo L_H	8..30 dB μ V (smv)	aloittaa puhelun siirron
kentänvoimakkuuden alempi arvo L_L	0..20 dB μ V (smv)	aloittaa puhelun katkaisun
Φ -häilytyksen toisto aika	20/60 s	toistaa Φ_1 -häilytyksen joko 20 tai 60 sekunnin välein
lähetysteho	1,5/6/25	kanavayksiköstä lähtevä teho
kohinasalpa	-4..4 dB μ V (smv)	.
vastaanottimen blokkauhäilytys	1..30 min	MTX:lle lähetetään tieto, jos signaali ylittää muualla kuin liikennekanavalla 10 dB μ V (smv) yli annetun ajan

MATKAPUHELINKESKUKSEN PARAMETRIT

TUKIASEMAKOHTAISET PARAMETRIT

MTX:ssä aseteltavista parametreistä suurin osa on tukiasemakohtaisia. Taulukossa L1-2 on esitetty tärkeimmät tukiasemakohtaiset parametrit.

TAULUKKO L1-2. Tukiasemakohtaisia parametreja.

Parametri	Asetusalue	Kuvaus
ISS	-63..63	puhelun siirtoon vaadittava signaalinvoimakkuusero; tämä asetetaan erikseen jokaiselle naapuritukiasemalle
LLS	0..63	signaalin voimakkuuden kynnysraja puhelun siirrolle puhelun alussa
MLS	0..63	signaalin voimakkuuden raja tukiaseman sisäiselle puhelun siirrolle
ULS	0..63	signaalin voimakkuuden kynnysarvo tehonalennukselle puhelun alussa
SSMISS	0..63	signaalin voimakkuuden oletusarvo kotitukiasemalle
BSPOW	L/M/H	MS:n suurin sallittu lähetysteho
IREP	5..20 s	kentänvoimakkuuden mittausten toistoväli
FST	1..4	Φ -signaalin taajuuden numero

MTX-KOHTAISET PARAMETRIT

Näitä parametrejä ovat esimerkiksi jonotusaika, roaming-tietojen uudelleenlähetysväli ja käsipuhelimen paristonsäästöperiodi.

KANAVAKOHTAISET PARAMETRIT

Radiokanavan numero ja kanavan tyyppi ovat kanavakohtaisia parametrejä.

PUHELINTEN LUOKITTELUPERUSTEET

Kappaleessa 6.2. on luokiteltu puhelimet laboratoriomittausten ja käytännön mittausten perusteella. Jokaisesta kohdasta on annettu pisteet seuraavan listan periaatteiden mukaisesti.

LABORATORIOMITTAUKSET

SÄTEILYTEHO

Tässä kohdassa on arvosteltu säteilyteho mittaustasolta 0 m eli samalta tasolta mittaussantennin kanssa siten, että antenni on ollut ylhäällä. Kuvan 6-x perusteella saadaan taulukko:

Tehotaso/dBm	arvosana
< 25	1
25..27	2
27..29	3
29..31	4
> 31	5

TEHOTASON VARIANSSI

Varianssi ilmaisee tässä tapauksessa suuntakuvion epätasaisuuden; mitä suurempi varianssi, sitä epätasaisempi suuntakuvio.

Varianssi	arvosana
>15	1
10..15	2
5..10	3
1..5	4
< 1	5

TEHOTASO 1 W

Tehotason pitäisi spesifikaation mukaan olla 30 ± 3 dBm. Mittauksissa ei kuitenkaan käytetty johtavaa maatasoa, joten tulokset eivät ole yhteensopivia ohjearvojen kanssa. Tulokset antavat kuvan säteilytehosta vapaassa tilassa ilman heijastavia pintoja.

Tehotaso/1 W	arvosana
27,00...27,75	1
27,75...28,50	2
28,50...29,25	3
29,25...30,00	4
$\geq 30,00$	5

TEHOTASO 0,1 W

Tähän mittaukseen pätevät samat asiat kuin 1 W:n tehotason mittaukseen lukuun ottamatta spesifikaatioiden määrittämiä rajoja 20 ± 3 dBm.

Tehotaso/0,1 W	arvosana
17,00...17,75	1
17,75...18,50	2
18,50...19,25	3
19,25...20,00	4
$\geq 20,00$	5

TAAJUUSVIRHE

Taajuusvirhe saa spesifikaatioiden mukaan olla ± 1000 Hz.

Taajuusvirhe	arvosana
>1000	1
750...1000	2
500...750	3
250...500	4
< 250	5

DEVIAATIO PSOFOMETRISESTI PAINOTETTUNA +94 dB YLI KUULOKYNNYKSEN

Tämä ei ole spesifikaatioiden määrittämä mittaus.

Deviaatio +94 dB	arvosana
> 3,6	1
3,4...3,6	2
3,2...3,4	3
3...3,2	4
< 3.0	5

FFSK-DEVIAATIO

Jokainen 0,1 kHz yli spesifikaation rajan pudottaa arvosanaa 1 pisteellä.

Φ -DEVIAATIO

Jokainen 0,1 dB yli spesifikaation rajan pudottaa arvosanaa 1 pisteellä.

HERKKYYS

Spesifikaatioiden mukaan herkkyyden pitää olla > 20 dB. Kaikki puhelimet täyttävät ehdon.

KÄYTÄNNÖN KOKEET**KOKEET MAASTOSSA**

Pisteytys tapahtuu kaikkien puheluyritysten perusteella.

Epäonnistumiset/ %	arvosana
> 30	1
25..30	2
20..25	3
15..20	4
< 15	5

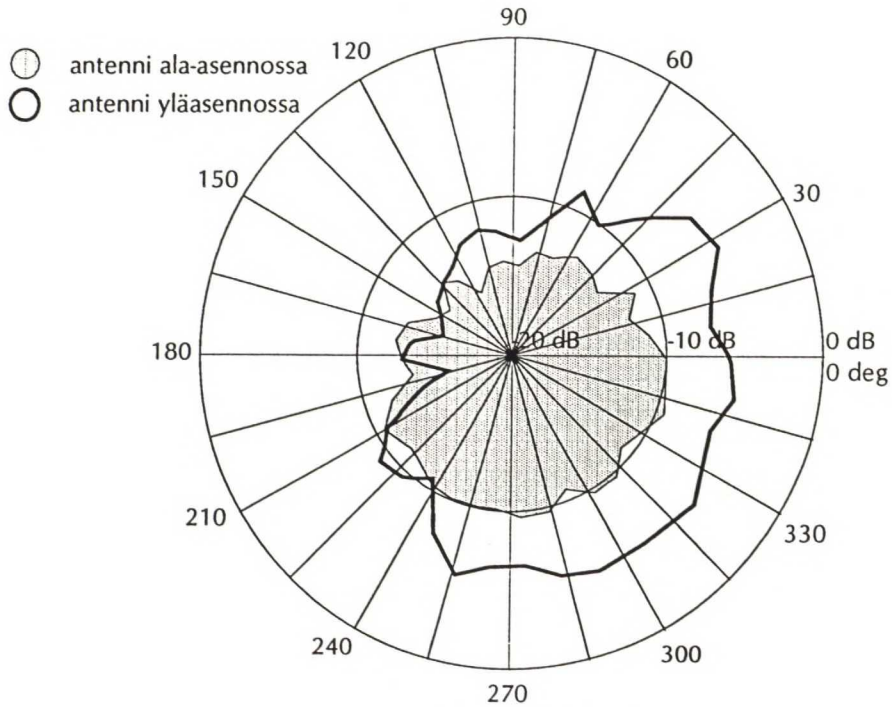
KOKEET KAUPUNGISSA

Arvosana määräytyy 1E- ja C3-tapausten yhteismäärän perusteella.

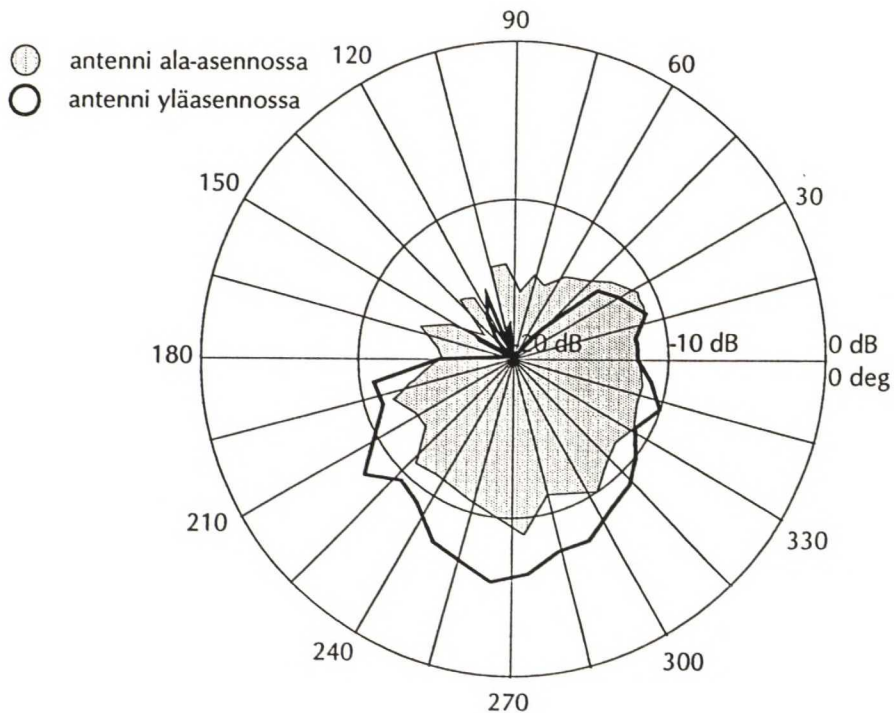
1E ja C3	arvosana
> 4	1
3..4	2
2..3	3
1..2	4
< 1	5

SÄTEILYTEHOMITTAUKSET

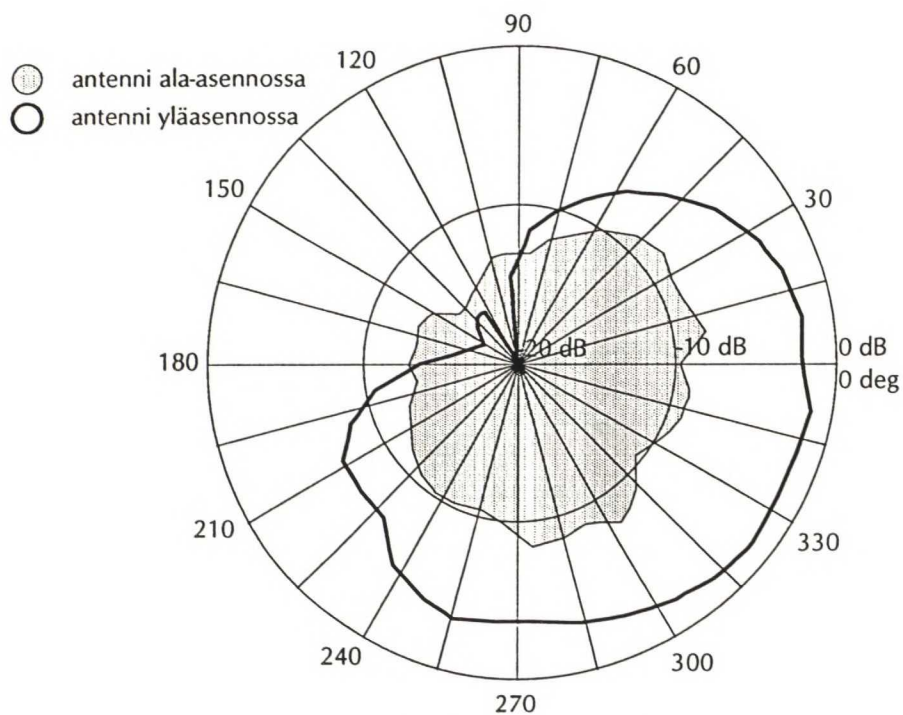
Liitteen 3 ja 4 kuviot esittävät puhelinten säteilytehoa siten, että puhelinten näyttö on suuntaan 0 astetta. Säteilytehot on mitattu sekä samalta tasolta mittausantennin kanssa että 0,5 metriä tason ala- ja yläpuolelta. Kuvioissa 0 dB vastaa säteilytehoa 31 dBm.



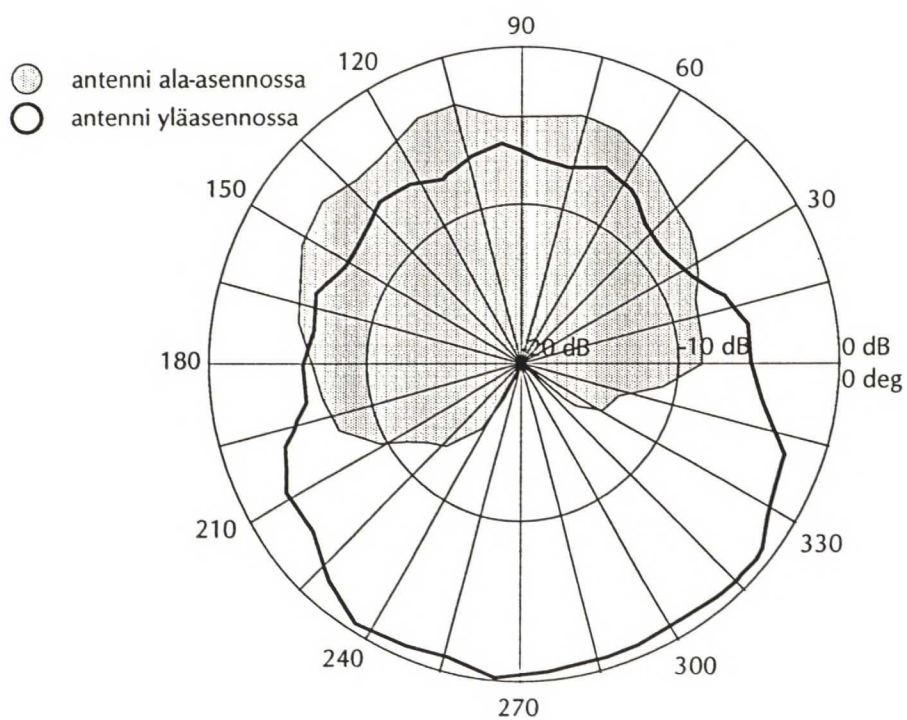
Malli A, taso 0 m.



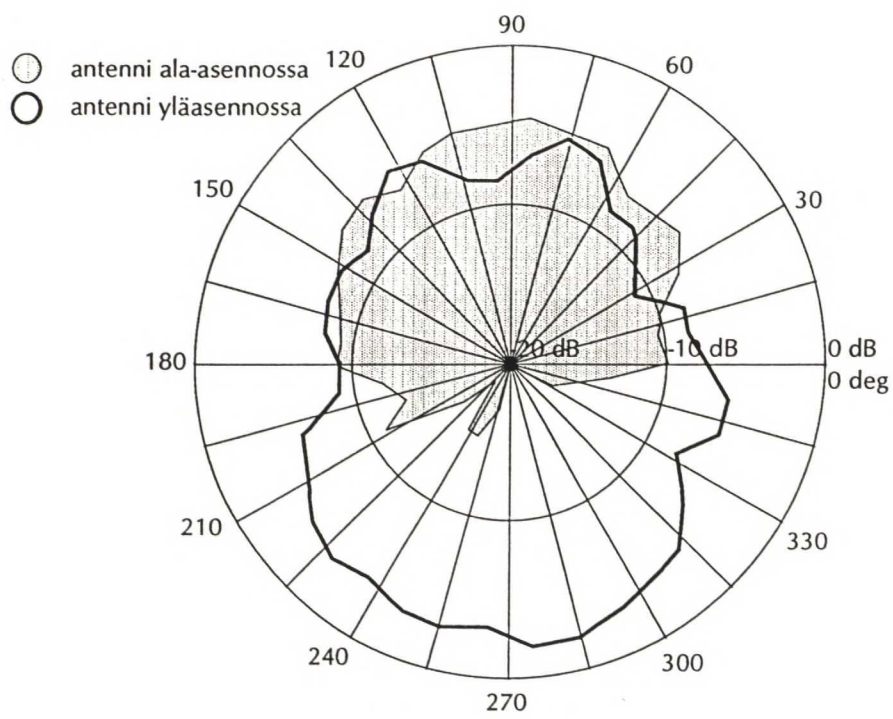
Malli A, taso -0,5 m



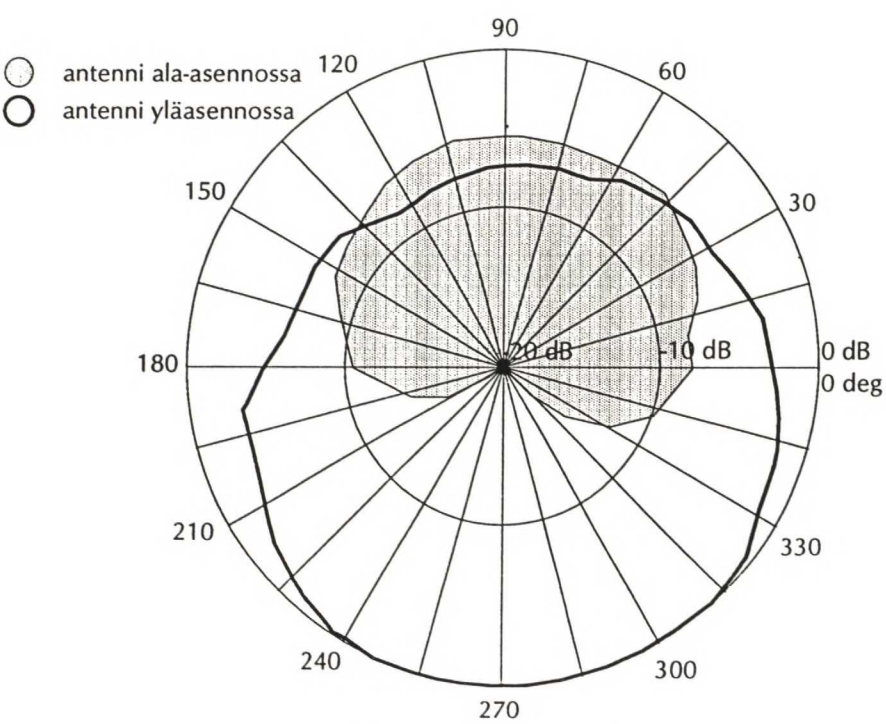
Malli A, taso +0,5 m.



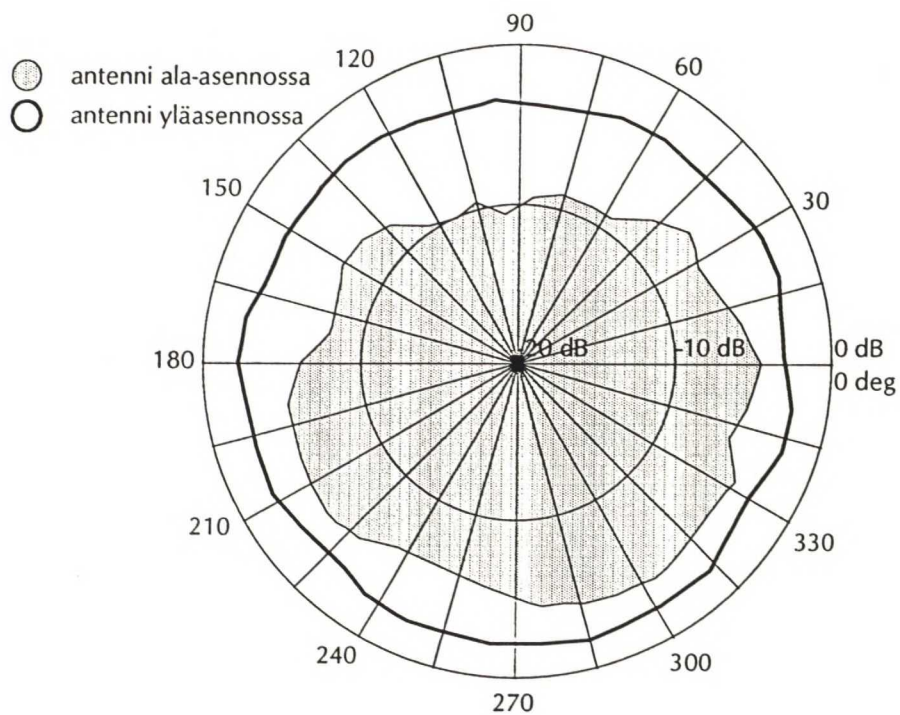
Malli B, taso 0 m.



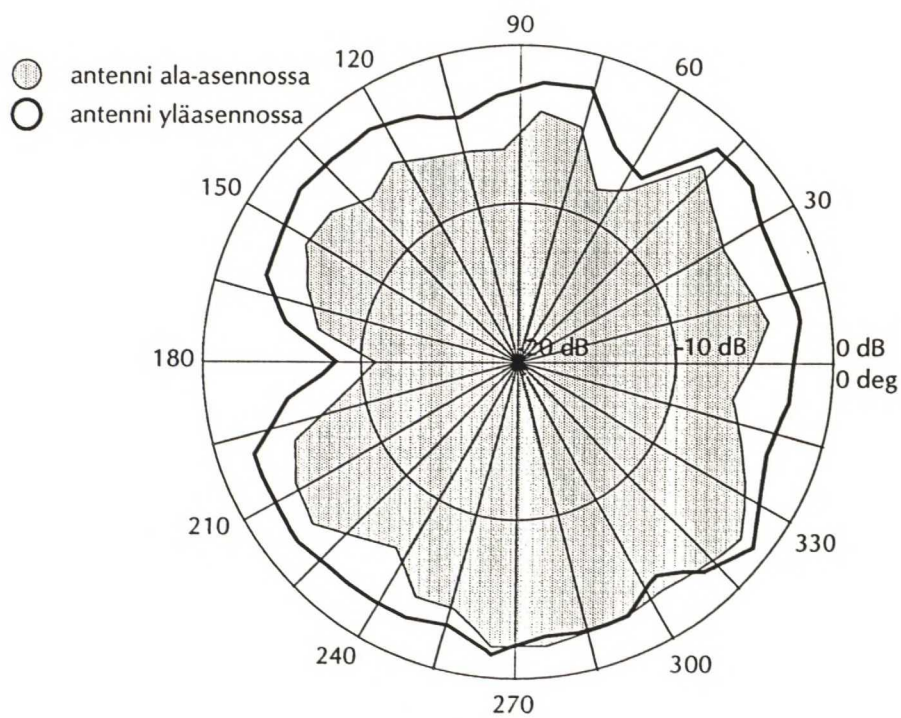
Malli B, taso - 0,5 m.



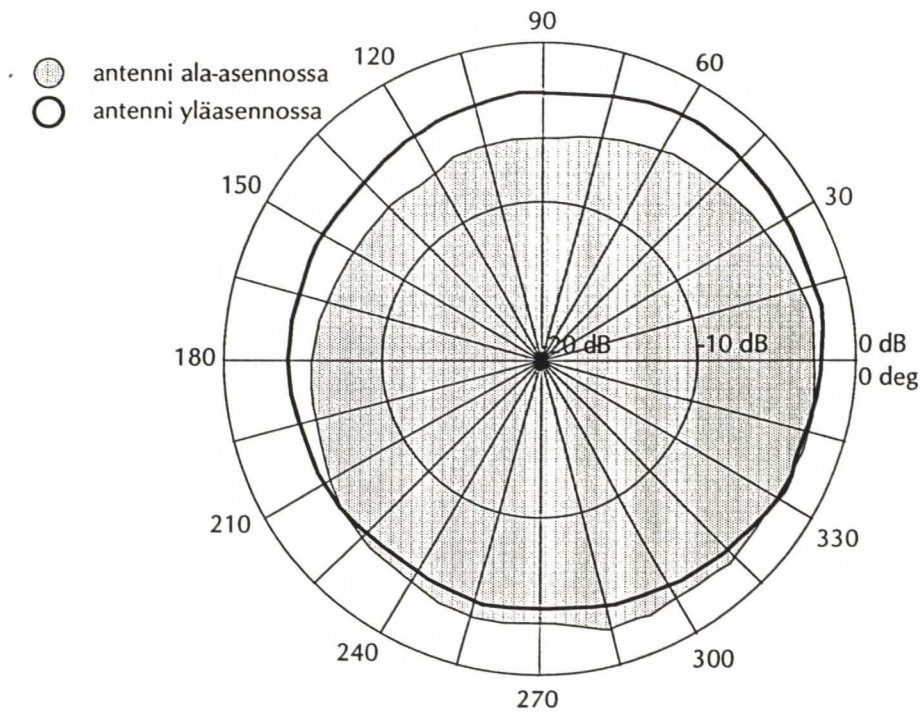
Malli B, taso + 0,5 m.



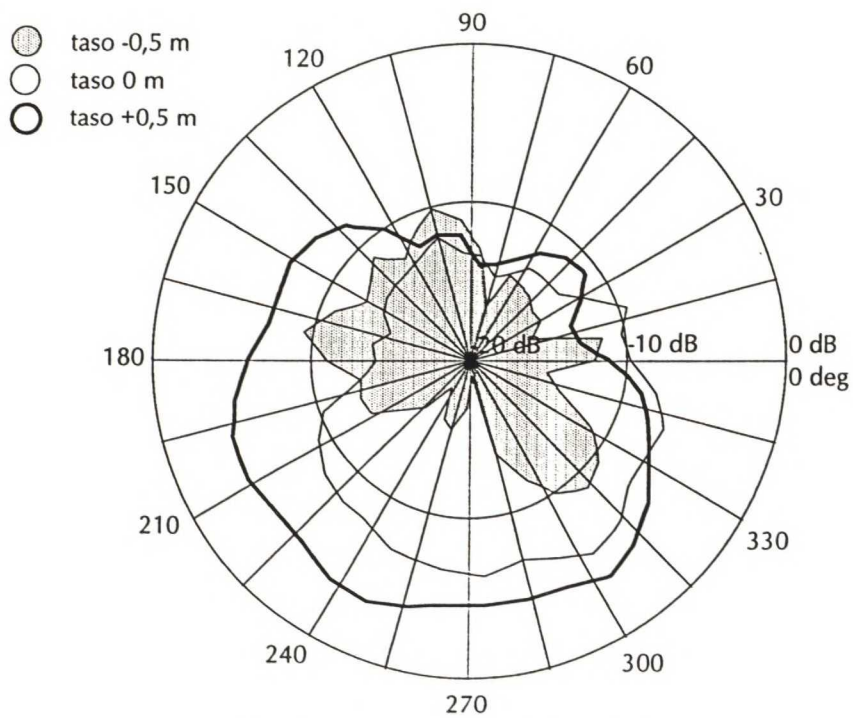
Malli C, taso 0 m.



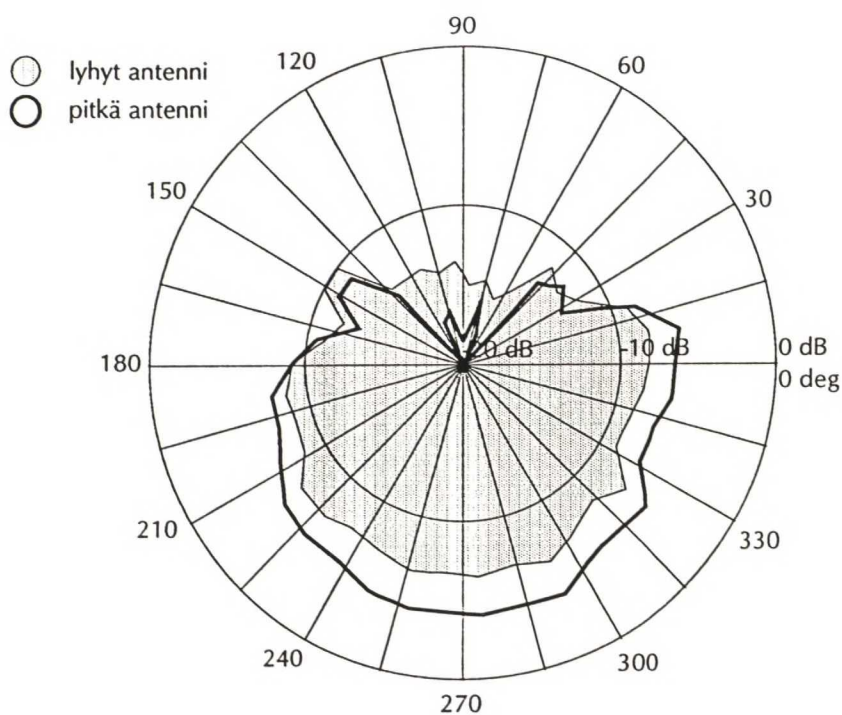
Malli C, taso -0,5 m.



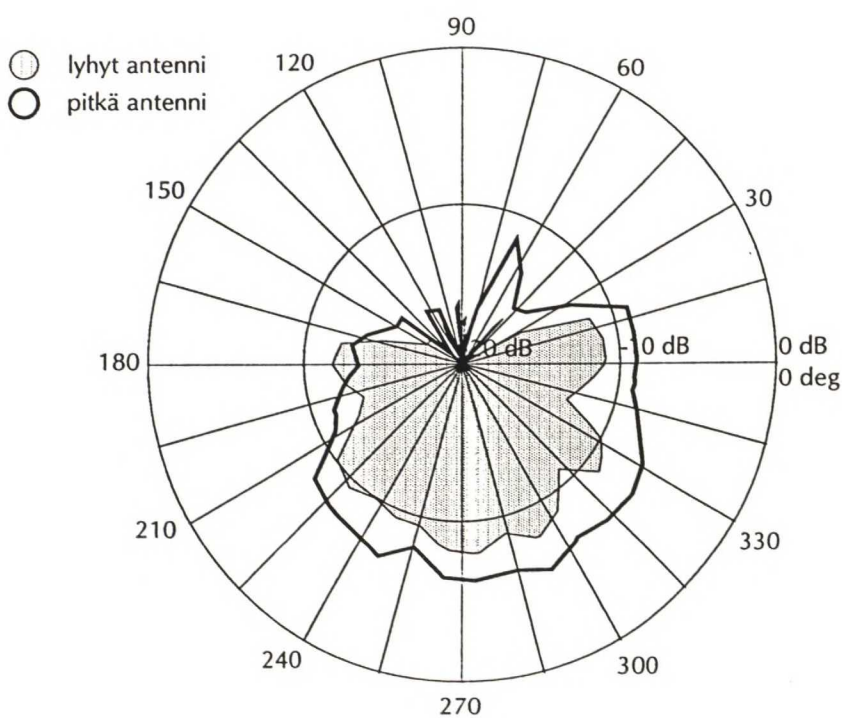
Malli C, taso + 0,5 m.



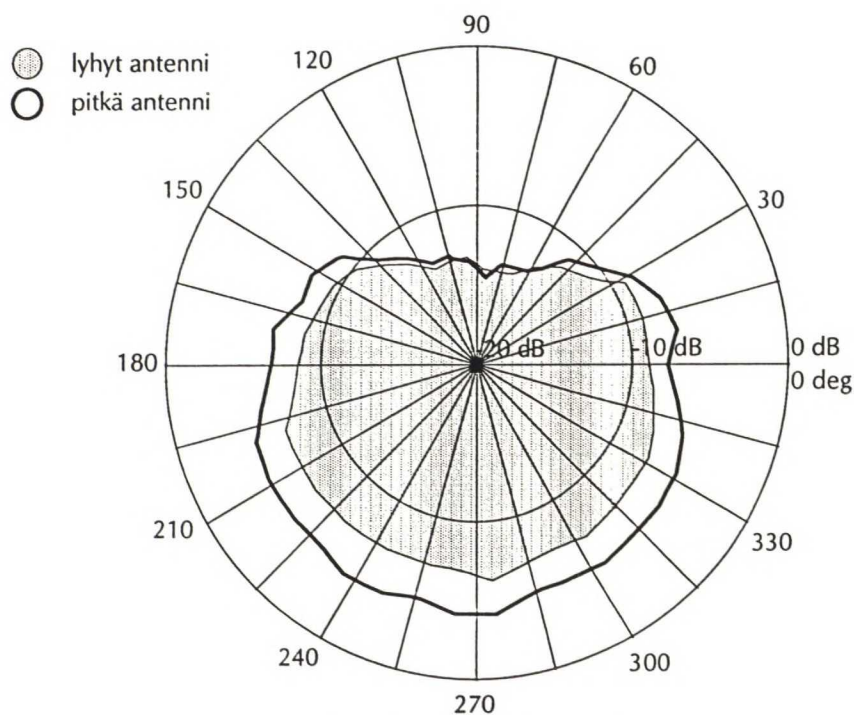
Malli D, tasot -0,5, 0 ja +0,5 m.



Malli E, taso 0 m.



Malli E, taso -0,5 m.

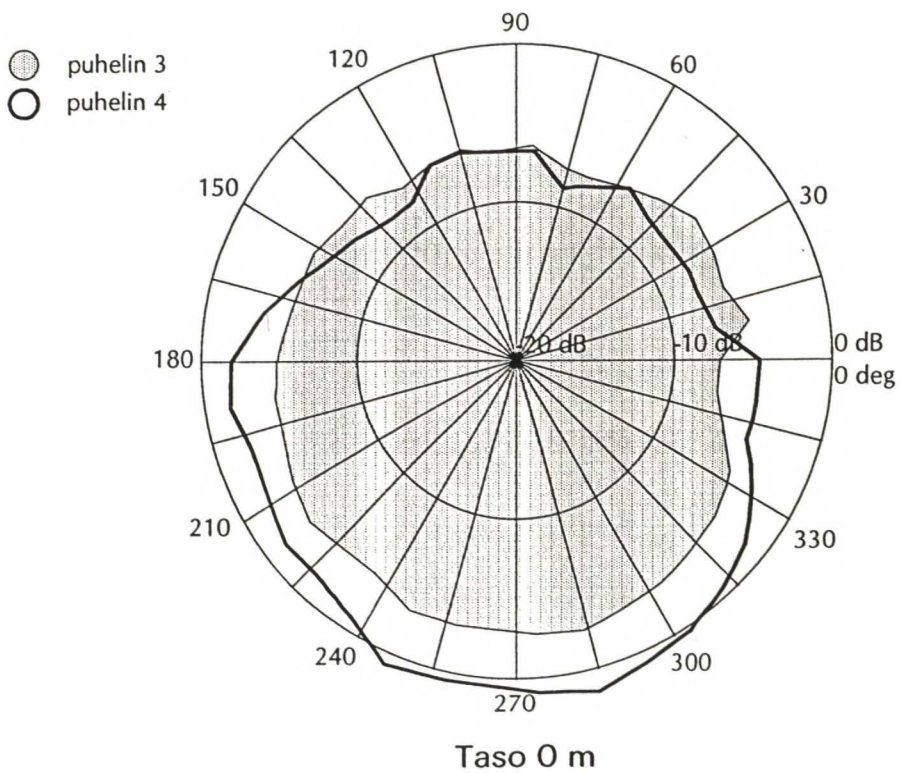
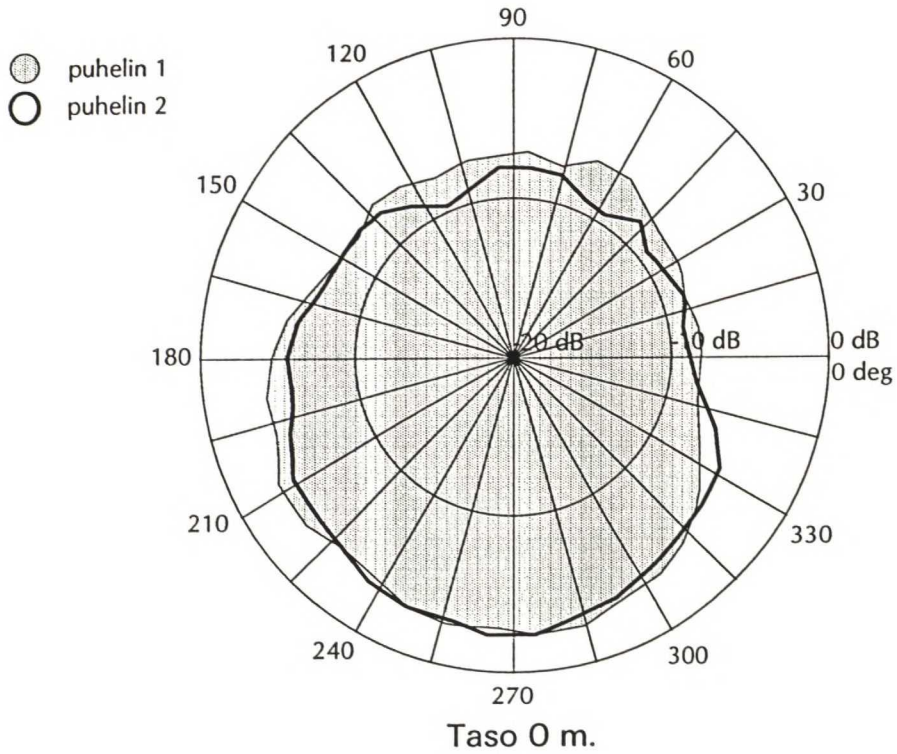


Malli E, taso +0,5 m.

Liitteen 3 mittaukset on tehty Tele-Engineeringin Lauttasaareissa sijaitsevassa radiokaiuttomassa huoneessa. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon se, että huoneessa ei ollut tyyppihyväksyntämittauksissa vaadittavaa johtavaa maatasoa (kpl 2.6). Tulokset antavat kuvan puhelinten säteilytehosta vapaassa tilassa.

Kappaleessa 5.1 on esitetty suuntakuvioiden mittausjärjestely.

VANHOJEN PUHELINTEN SÄTEILYTEHOMITTAUKSET



RADIOTEKNISET MITTAUKSET

Taulukoissa L5-1..L5-5 on esitetty testattujen puhelinten radiotekniset mittaustulokset. Mittaukset tehtiin kesällä 1993 Tele-Engineeringin testauslaboratoriossa.

TAULUKKO L5-1. Mallin A mittaustulokset.

Malli A	1	2	3	4	5
Teho 1 W dBm	26.2	26	26	25.7	26
0,1 W dBm	18	17.8	18	17.1	18.4
Taajuusvirhe Hz	-170	-300	-200	-200	-150
Norm. kHz dev.	2.3	2.3	2.5	2.4	2.2
FFSK- 0 kHz dev.	4.3	4.2	4.2	4.3	4.2
1 kHz	3	2.9	2.9	3	2.9
fii-dev. 3945 dB	-0.2	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4
4000 dB	0.3	0	0	-0.1	0
4055 dB	0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1
Herkkyys, SINAD(P) dB	25.5	26	26.5	26	25.5

TAULUKKO L5-2. Mallin B mittaustulokset.

Malli B	1	2	3	4	5
Teho 1 W	29.2	28.9	28.9	28.6	28.9
0,1 W	19.8	19.3	19.3	19.4	19.5
Taajuusvirhe	-90	-100	-100	-100	-110
Norm. dev.	2.7	2.7	2.5	2.5	2.4
FFSK- 0 dev.	4	4.1	4.1	4.2	4.2
1	2.8	2.9	2.9	3	3
fii-dev. 3945	0.6	0.6	0.6	0.4	0.1
4000	0.4	0.4	0.2	0.3	-0.2
4055	0.5	0.5	0.5	0.3	0
Herkkyys, dB SINAD(P)	26	28	28	27	26

TAULUKKO L5-3. Mallin C mittaustulokset.

Malli C	1	2	3	4	5
Teho 1 W dBm	27.7	27.9	28	27.7	28.7
0,1 W dBm	19	19.4	18.9	19.7	20.4
Taajuusvirhe Hz	-100/+100	-170/+180	-120/+70	-200/+200	-100/+100
Norm. kHz dev.	3	2.7	3.3	2.6	2.9
FFSK- 0 kHz dev.	3.9	3.9	4	4	3.8
1 kHz	2.8	2.8	2.9	2.9	2.7
fii-dev. 3945 dB	0.2	0.3	-0.4	-0.1	-0.1
4000 dB	0.8	0.8	0.3	0.4	0
4055 dB	0.5	0.4	0.1	0	0
Herkkyys, dB SINAD(P)	25	25	25	25	25

TAULUKKO L5-4. Mallin D mittaustulokset.

Malli D			1	2	3	4	5
Teho	1 W	dBm	28	28.9	29	29.1	28.3
	0,1 W	dBm	20.7	20.8	21.2	20.7	20.5
Taajuusvirhe		Hz	10	10	20	0	10
Norm. dev.		kHz	2.5	2.5	2.6	2.5	2.5
FFSK-dev.	0	kHz	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2
	1	kHz	3	3	3	3.1	3.1
fii-dev.	3945	dB	0	-0.4	0.1	-1	-0.8
	4000	dB	0	-0.5	0	-0.9	-0.9
	4055	dB	-0.2	-0.7	-0.2	-1.2	-1
Herkkyys, SINAD(P)		dB	24	24	25	24.5	25

TAULUKKO L5-5. Mallin E mittaustulokset.

Malli E			1	2
Teho	1 W	dBm	27.5	27.4
	0,1 W	dBm	20.1	20.0
Taajuusvirhe		Hz	0	20
Norm. dev.		kHz	-	-
FFSK-dev.	0	kHz	4.0	3.8
	1	kHz	2.8	2.6
fii-dev.	3945	dB	-0.1	0.3
	4000	dB	-0.4	0.1
	4055	dB	-0.2	0.3
Herkkyys, SINAD(P)		dB	27.5	27.5